(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 361 545**

(21) Número de solicitud: 200900508

(51) Int. CI.:
H04L 12/24 (2006.01)

(12) PATENTE DE INVENCIÓN B1

(22) Fecha de presentación: **24.02.2009**

(43) Fecha de publicación de la solicitud: **20.06.2011**

Fecha de la concesión: **24.04.2012**

(45) Fecha de anuncio de la concesión: **08.05.2012**

(45) Fecha de publicación del folleto de la patente: **08.05.2012**

(73) Titular/es:
UNIVERSIDAD DE ALCALA DE HENARES
PZA. DE SAN DIEGO, S/N
28801 ALCALA DE HENARES, Madrid, ES y
UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

(72) Inventor/es:
IBAÑEZ FERNANDEZ, GUILLERMO AGUSTÍN;
CARRAL PELAYO, JUAN ANTONIO;
GARCIA MARTINEZ, ALBERTO y
AZCORRA SALOÑA, ARTURO

(74) Agente/Representante:
Carpintero López, Mario

(54) Título: **PROCEDIMIENTO DE ENCAMINAMIENTO DE TRAMAS DE DATOS Y PUENTE DE RED.**

(57) Resumen:
Este procedimiento opera en el nivel de enlace de datos. Cada puente asocia, durante un tiempo de guarda, el puerto por donde es primero recibida una trama con una dirección MAC origen hasta que una trama unicast de respuesta confirma el camino bidireccional coincidente entre direcciones origen y destino. Cualquier trama del mismo origen recibida por otro puerto distinto es descartada. Cada puente reenvía por el resto de puertos, salvo los que supongan giros prohibidos (abajo-arriba), las tramas broadcast recibidas y desvía por el árbol de expansión (u opcionalmente devuelve) las tramas unicast con dirección de destino desconocida o caducada.
El protocolo puede funcionar con encapsulado en los puentes frontera o sin encapsulado, utilizando en este caso reemplazamiento de direcciones universales MAC en los puentes frontera por direcciones locales MAC. Opcionalmente, el establecimiento y control de caminos puede realizarse proactivamente por los puentes frontera, especialmente los puentes conectados a servidores.

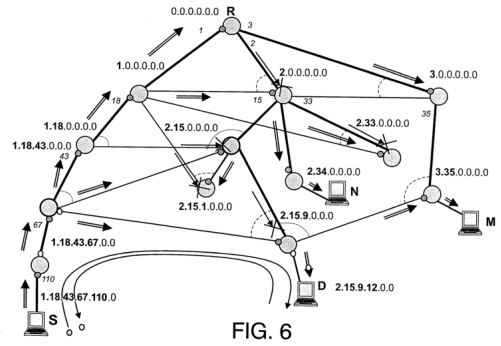

FIG. 6

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 37.3.8 LP.

ES 2 361 545 B1

DESCRIPCIÓN

Procedimiento de encaminamiento de tramas de datos y puente de red.

Campo técnico de la invención

La presente invención se encuadra en el marco de las tecnologías de la información y las comunicaciones en general, aplicándose más particularmente para las redes de área local (LAN) y metropolitanas (MAN), como por ejemplo las redes campus Ethernet.

Antecedentes de la invención

En la actualidad, las redes campus implantadas para la conexión de centros de enseñanza e investigación son redes troncales de alta velocidad (Gigabit Ethernet,...), integrando diferentes entornos y servicios (voz, datos, video) en una única infraestructura IP ("Internet Protocol"), soportando distancias de transmisión que pueden ir desde ámbito local hasta rangos idénticos a los de redes de área amplia (WAN).

El encaminamiento de las tramas en los puentes de red ("bridges", en inglés) para interconectar este tipo de redes que actualmente se usa es derivado del definido en el estándar IEEE 802.1D. Pero el uso de los actuales protocolos estándar de Árbol de Expansión (STP: "Spanning Tree Protocol", en inglés) en los puentes 802.1D tiene, para la implantación de redes de tamaño medio o grande, las siguientes carencias:

- Se infrautiliza mucha infraestructura costosa debido a los enlaces bloqueados por el Árbol de Expansión (STP) y se produce congestión en los enlaces activos.

- Hay que asignar y gestionar las direcciones IP, y la dirección IP cambia al cambiar el usuario de lugar de conexión.

- Deben fragmentarse los dominios de conmutación para limitar la propagación de problemas tales como tormentas de tramas. Para ello, se requiere emplear encaminadores o enrutadores de nivel de red ("routers", en inglés), o bien utilizar Conmutadores Multicapa para fragmentar en subredes más pequeñas.

- Cuando se emplean redes LAN virtuales (VLANs), estandarizadas según IEEE 802.1Q, para separar el tráfico y los dominios de difusión dentro del dominio conmutado, es posible utilizar de forma eficiente la infraestructura, pero es necesario configurar y administrar las VLANs, así como diseñar y configurar los Árboles de Expansión según el estándar 802.1Q, para luego asignar las VLAN a los mismos.

- Por otra parte, la tecnología de Árboles Múltiples De Expansión (MSTP: "Múltiple Spanning Tree Protocol") es un terreno escasamente explorado en la práctica fuera del estándar (IEEE 802.1s y 802.1Q-2003) y susceptible de optimización. El MSTP es una extensión del Árbol De Expansión Rápida (RSTP) que, a su vez, es una evolución de la primera especificación del estándar 802.1D donde se define el STP: RSTP se define en la norma 802.1w, que pasó a ser la edición del año 2004 (802.1D-2004) de la 802.1D.

También son conocidos los conmutadores con encaminamiento centralizado que se usan en Autonet ["Autonet: A High-Speed, Self-Configuring Local Area Network Using Point-to-Point Links" de M. Shoreder *et al*., IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 9, No. 8, p. 1318-1335, 1991]. El mecanismo de encaminamiento que utiliza Autonet se denomina encaminamiento arriba/abajo ("Up/Down routing", en inglés) y se basa en asignar un sentido a todos los enlaces de la red según la posición del vértice del enlace en el árbol de distribución: arriba, si está mas cercano al Puente Raíz (el nodo del árbol que no tiene padre); hacia abajo, si es al contrario. Para ello, se asignan identificadores crecientes a los puentes partiendo del puente raíz y descendiendo nivel a nivel hasta los Puentes Hoja (los que no tienen hijos; un nodo A es padre de B si existe un enlace de A al nodo B). Los enlaces entre nodos a la misma altura reciben la orientación según la identidad del puente sea mayor o menor. Una ruta legal es la que nunca usa/atraviesa un enlace en la dirección hacia arriba después de haber usado uno hacia abajo, es decir, se evitan los bucles prohibiendo los giros abajo-arriba.

Una evolución del encaminamiento arriba/abajo la constituyen los algoritmos basados en Prohibición de Giros (TP: "Turn-Prohibition", en inglés) [por ejemplo, "Application of Network Calculus to General Topologies using Turn-Prohibition" de *L. Starobinski et al*., IEEE INFOCOM 2002 p. 1151-1159, 2002]. Los algoritmos de Prohibición de Giros operan normalmente en dos fases: en la primera se define el conjunto de giros prohibidos y posteriormente se construyen las tablas de encaminamiento. La definición de los giros prohibidos consta a su vez de tres fases: construcción del árbol de expansión, etiquetado de nodos según el árbol de expansión y algoritmo de definición del conjunto de giros prohibidos.

Otra solución existente es el encaminamiento jerárquico RSJ (Protocolo RSTAA-STAR Jerárquico) que se propone en la Tesis Doctoral de G. Ibáñez ["Contribución al diseño de redes campus Ethernet autoconfigurables", Universidad Carlos III de Madrid, 2005; disponible también en http://enjambre.it.uc3m.es/~gibanez/tesisgif69.pdf]. No obstante, las direcciones en RSJ son de longitud variable, no utilizables dentro de los campos estándar de una trama Ethernet,

por lo que se requiere un encapsulado adicional de la trama. El RSJ es una extensión del protocolo STAR ("Spanning Tree Alternate Routing Protocol") y no resuelve los bucles por caminos transversales en el árbol.

Otra solución, denominada HURP ["Hierarchical Up/Down routing architecture for ethernet backbones and campus networks", Ibáñez, G. A., *et al*., IEEE Conference on Computer Communications Workshops, INFOCOM, p.p. 1-6, 13-18 April 2008] es una arquitectura de encaminamiento de nivel dos que se basa en la asignación a cada nodo de un identificador jerárquico mediante un mecanismo asociado al protocolo RSTP ("Rapid Spanning Tree Protocol"). Utiliza una versión mejorada del protocolo arriba/abajo (U/D) para prohibir determinados giros en determinados nodos en lugar de inhabilitar enlaces (tal como hace RSTP) para garantizar caminos sin bucles. Este protocolo tiene un rendimiento similar o mejor que otros también basados en prohibición de giros y además presenta una menor complejidad $O(Nd)$ y mejor escalabilidad. HURP mejora el rendimiento de U/D gracias al conocimiento que sobre la topología de la red le proporcionan las direcciones MAC locales jerárquicas (HLMAC: "Hierarchical Local MAC"). Así, están permitidos los giros que alcanzan bien el nodo destino bien la rama del árbol que contiene al destino, aunque constituyan giros prohibidos para un reenvío cualquiera, gracias a que una vez la trama alcanza la rama destino del árbol ya es reenviada sobre ella sin necesidad de nuevas decisiones de encaminamiento. Cada puente debe comprobar si alguno de sus vecinos es un prefijo o contiene la dirección HLMAC del destino, para proceder al reenvío independientemente del algoritmo de prohibición de giros. Esta solución emplea encaminamiento por los enlaces transversales implementado en el plano de control (intercambio de tablas entre puentes).

Antecedentes en la utilización de enlaces transversales más rápidos en las redes de puentes son:

- DLS (Distributed Load Sharing) que se propone en US 4811337, donde dos puentes pueden acordar encaminar el tráfico entre ellos por enlaces no pertenecientes al árbol de expansión (enlaces transversales) si dicho enlace cumple ciertas condiciones: (i) los dos puentes en los extremos del enlace seleccionado implementan DLS, (ii) los dos puentes de los extremos no pueden ser uno antecesor del otro en el árbol de expansión y (iii) la longitud del camino asociada con el enlace seleccionado debe ser menor que la suma de las longitudes de dichos puentes al puente raíz. Pero DLS puede sobreestimar la longitud real del camino por el árbol de expansión, por lo que puede elegir enlaces de camino más largo. DLS es compatible con el protocolo estándar 802.1D por lo que los puentes DLS pueden desplegarse en una red de puentes 802.1D.

- GDLS (Generalized DLS) que se propone en US 5150360 es una extensión y simplificación de la propuesta anterior para evitar algunos inconvenientes de DLS, eliminando las condiciones establecidas en DLS para el uso de enlaces transversales (no perteneciente al árbol) al permitir que cada enlace transversal sea elegible para reenvió de tramas. GDLS no compara la longitud del enlace transversal con la del camino vía árbol, sino que estima la velocidad de transmisión entre árboles midiendo el retardo mediante una trama de datos específica del protocolo (BPDU: Bridge Protocol Data Units) intercambiada entre los puentes GDLS de los extremos. Mediante esta trama se comparan el retardo vía árbol con el retardo por el enlace transversal y se selecciona el enlace de menor retardo. GDLS es compatible hacia atrás con el protocolo IEEE 802.1D.

- OSR (Optimal-Suboptimal Routing) ["Extended bridge algorithms for large networks" Sincoskie, W. D.; Cotton, C.J.; IEEE Network, Vol. 2, Issue 1, p.p. 16-24, 1988) es un protocolo de puentes con aprendizaje de forma que se pueden identificar rutas óptimas o subóptimas entre puentes. Los puentes situados en el extremo, puentes hoja ("leaf bridges") aprenden las direcciones MAC de los equipos terminales ("hosts") conectados y las difunden distribuyéndolas jerárquicamente hacia arriba en el árbol de forma iterativa. Los puentes escuchan las tramas recibidas para localizar estaciones en las LAN a las que están conectadas. Luego transmiten este conocimiento a los puentes situados más arriba en el árbol y así hasta alcanzar el puente raíz mediante mensajes de localización OSR. Estos mensajes de localización son transmitidos por todos los puertos de cada puente, incluso los bloqueados. Cada puente calcula la ruta para conocer qué enlace utilizar para alcanzar por un camino mínimo cada estación destino. Si hay más de una ruta óptima se distribuye el tráfico entre ellas. Los puentes OSR encapsulan las tramas con una cabecera con dirección destino de multidifusión ("multicast") especial para todos los puentes OSR. El protocolo es compatible hacia atrás con IEEE 802.1D.

Entre las soluciones existentes para la elección del camino más rápido también merece especial atención la propuesta de Bertsekas ["Data Networks", Bertsekas, Dimitri P.; Gallager, Robert G.; ISBN-10: 0132009161, capítulo 5, "Routing in Data Networks", página 370, 1992] como antecedente. Bertsekas propone la difusión de paquetes mediante un árbol enraizado en un nodo origen de difusión (nodo A). Cada nodo conoce a su predecesor o padre en el árbol, pero no precisa conocer a sus sucesores o hijo. El árbol puede utilizarse para encaminar paquetes desde otros nodos al nodo A utilizando los caminos del árbol en dirección opuesta. Asimismo puede usarse para inundar paquetes desde el nodo A. La regla de inundación es la siguiente: un paquete recibido del padre es reenviado a todos los vecinos excepto al padre, todos los demás paquetes son ignorados. Un nodo reenvía solamente los paquetes recibidos de su nodo padre, los demás paquetes son ignorados. No se precisan números de secuencia en los paquetes para detectar duplicados, porque los paquetes solo se difunden por el árbol en la dirección de alejamiento del puente raíz, por lo que no hay bucles.

La inundación de paquetes propuesta por Bertsekas puede usarse para construir un árbol enraizado en un nodo A como el mencionado. El nodo A comienza el proceso enviando un paquete a todos sus vecinos y éstos lo reenvían a sus vecinos y así sucesivamente. Cada nodo marca al nodo transmisor del primer paquete que recibe como su padre o antecesor en el árbol. Los nodos deben reenviar el paquete a sus vecinos solamente una vez (tras recibir el paquete de su padre), todos los paquetes sucesivos deben ser ignorados.

La técnica de enrutamiento de Bertsekas presenta ciertas deficiencias:

- No resuelve el problema de establecer un camino bidireccional unidestino (unicast) simétrico, es decir que pase por los mismos nodos en ambos sentidos, aspecto imprescindible para que funcione el aprendizaje de direcciones MAC y pueda ser aplicado en puentes transparentes con aprendizaje, aplicación no contemplada por Bertsekas.

- No emplea el aprendizaje de direcciones de nodos origen sino la construcción de un árbol mediante el aprendizaje del nodo padre (antecesor inmediato), no del nodo raíz del árbol, ni del equipo terminal emisor de la trama.

- No resuelve el encaminamiento unidestino entre un nodo A y un nodo D cuando se utiliza aprendizaje hacia atrás ("backward learning"). Bertsekas contempla la difusión desde el origen A al destino D y un encaminamiento unidestino desde D hasta A, pero no con aprendizaje hacia atrás entre A y D porque, ante una posible variabilidad de los retardos en cada enlace en ambos sentidos de propagación, puede resultar seleccionado como camino más corto en un sentido un camino distinto al de sentido contrario.

- No resuelve el problema del encaminamiento entre equipos terminales ("hosts") y no menciona ningún mecanismo arriba-abajo para prevenir bucles transitorios que pueden producirse accidentalmente o durante los transitorios de construcción del árbol.

- No resuelve el problema de la reconfiguración del árbol en caso de fallo de un enlace o nodo y sus transitorios. No explica cómo se detecta un fallo de un enlace o nodo ni cómo se modifica el árbol tras un fallo.

Una última propuesta reciente es el conmutador del Servicio Universal de Telecomunicaciones Ethernet (UETS) descrito en ES 2246702. Los conmutadores UETS también presentan ciertas restricciones de compatibilidad con las redes Ethernet MAC universales e IP. Los puentes estándar (802.1D) no pueden coexistir de manera compatible dentro de un dominio UETS. Los dominios UETS y Ethernet son disjuntos y las tramas a la entrada se clasifican y envían hacia uno u otro dominio. Los conmutadores UETS requieren de asignación de direcciones de capa dos OSI jerárquicas y de máscaras de longitud configurable según la topología física de la red, siendo asignadas mediante gestión, lo cual supone un sistema de configuración complejo. Para obtener las direcciones Ethernet locales de los dispositivos en un dominio UETS es preciso resolver el identificador de domino o la dirección en IP en un servidor UETS Ethernet DNS. No puede utilizarse el mecanismo ARP [definido en RFC 826 "An Ethernet Address Resolution Protocol", 1982] para obtener dichas direcciones. Los conmutadores UETS no contemplan la utilización de difusión amplia y multidifusión ("broadcast" y "multicast", en inglés). UETS está orientado a conmutadores de tipo Banyan para máximo rendimiento que no utilizan difusión, mecanismo base del árbol de expansión.

En resumen, la problemática que sigue sin resolverse completamente y es un fin al que la presente invención trata de dar solución, definiendo conmutadores Ethernet de funcionalidad añadida y sus protocolos de funcionamiento que permiten conservar las ventajas de los puentes de red conocidos a la vez que eliminan sus inconvenientes, es implementar redes Ethernet de alta utilización y alta capacidad lo más autoconfigurables posible. Asimismo, son objetivos de la invención que se describe seguidamente maximizar el uso de la infraestructura de comunicaciones, mediante el empleo de protocolos sencillos y con coste de equipos reducido, así como simplificar los procesos de configuración y mantenimiento de la red, evitando la administración de direcciones IP en redes campus y su dependencia del lugar de conexión del terminal.

Descripción de la invención

La presente invención viene a resolver la problemática anteriormente expuesta, en todos y cada uno de los diferentes aspectos comentados, concibiendo un protocolo de encaminamiento que opera en el plano de usuario (encaminando tramas de datos), dentro del nivel de enlace de datos (segunda capa OSI).

En este contexto, el de los protocolos de encaminamiento aquí referidos, se entiende por:

- plano de control, el relativo a los mensajes de control del protocolo intercambiados entre nodos, tales como unidades de datos de protocolo de puentes (BPDU: "Bridge Protocol Data Units", definidas en el estándar 802.1D).

- plano de usuario, se refiere a las tramas enviadas por los usuarios y encaminadas por los nodos.

El protocolo de encaminamiento de tramas de datos que se propone, aquí llamado protocolo FastpathUD y así denominado en adelante, comprende a su vez:

- Un protocolo de creación (o establecimiento/construcción) y mantenimiento (configuración y reconfiguración) de un árbol de expansión, que asigna a los puentes de red direcciones consecutivas de forma ordenada según su distancia o coste creciente al puente raíz del árbol.

- Un protocolo de encaminamiento y reenvió transparente, por ejemplo usando encaminamiento arriba-abajo utilizando difusión amplia por toda la red de las tramas de datos utilizadas para establecer un camino. El protocolo efectúa una difusión total (reemplazando la difusión limitada a través del árbol de expansión) sólo restringida por los giros prohibidos en la topología para evitar bucles. Además, este protocolo de encaminamiento y reenvió utiliza aprendizaje hacia atrás restringido, el cual opera registrando o asociando el puerto de cada puente multipuerto (conmutador) por el que se ha recibido primero una trama a la dirección MAC origen de la trama. Este aprendizaje hacia atrás es aplicable a direcciones MAC tanto universales (UMAC: "Universal MAC") como locales (HLMAC: "Hierarchical Local MAC").

El protocolo de creación y mantenimiento del árbol de expansión asigna direcciones (identidades) a los nodos (puentes de red) del árbol según distancia creciente al nodo (puente) raíz. Una opción de realización es asignar a los puentes direcciones MAC locales de manera jerárquica mediante el protocolo HURP ["Hierarchical Up/Down routing architecture for ethernet backbones and campus networks", Ibáñez, G. A., *et al*., IEEE Conference on Computer Communications Workshops, INFOCOM, p.p. 1-6, 13-18 April 2008]. En este caso a los puertos de cada puente también se les asigna una dirección MAC local jerárquica (HLMAC). El equipo terminal conectado a un puerto recibe la dirección asignada al puerto que conecta el terminal al puente.

El protocolo de encaminamiento y reenvío de las tramas hace la asociación o aprendizaje para cada puente de la dirección MAC origen de una trama con el puerto por el que primero se recibe, generando una tupla o entrada (por ejemplo, en una memoria interna del puente) que comprende al menos:

- los (48) bits de la dirección MAC origen,
- la dirección (identidad) de puerto asignada por el protocolo de creación y mantenimiento del árbol de expansión,
- un indicador de captura de la dirección que indica que la entrada (la posición de memoria correspondiente) está bloqueada para el proceso de aprendizaje (enganchada al puerto asociado)
- un indicador de retención o caducidad ("aging") de la dirección aprendida.

Los indicadores de captura y de caducidad actúan como temporizadores. El indicador de captura tiene asociado un intervalo de tiempo (tiempo de captura, guarda o bloqueo), dimensionado de forma que se evita que la recepción retrasada de alguna trama con el mismo origen y que la que activó el aprendizaje por otro puerto del puente causen el reaprendizaje de dicha dirección origen pero asociándola a otro puerto. Cuando, durante el intervalo de captura, se recibe una trama unicast en sentido contrario y con dirección destino la dirección aprendida, el aprendizaje de la dirección en ese puerto queda confirmado y a la vez se asocia la dirección unicast origen al puerto por el que se recibió. En este puente ha quedado establecida la conexión bidireccional entre dichas direcciones unicast. El puente puede utilizar esa información para el reenvió de tramas. De no recibirse la trama unicast de respuesta en el intervalo del temporizador de captura, se borra la entrada en la caché correspondiente a la dirección cuyo intervalo de retención ha expirado. El intervalo de captura se dimensiona en función del máximo retardo esperable de respuesta de la red a un paquete ARP.

El indicador de caducidad o retención opera igual que en un puente estándar: es el intervalo durante el que se mantiene aprendida la dirección sin ser refrescada. De este modo, si ha transcurrido un intervalo superior al de caducidad de las entradas sin haber sido renovado el temporizador, por no haberse recibido ninguna trama con dicha dirección origen, el indicador de caducidad se pone a cero para indicar que la asociación dirección MAC origen-puerto del puente está caducada. El tiempo de caducidad o validez de la trama se marca a partir del tiempo de llegada de la trama por el puerto, que también puede registrase en la entrada (tupla).

La asociación entre dirección MAC origen-puerto de entrada puede realizarse mediante una tabla o memoria caché, opcionalmente de tipo direccionable por contenido Content Addressable Memory (CAM), que se accede por el contenido de los 48 bits de dirección MAC. El protocolo de encaminamiento y reenvío crea una entrada en la CAM que contiene la identidad de puerto asociada y los indicadores de retención de la dirección y de caducidad. El indicador de retención impide que la posición de memoria pueda actualizarse con otro puerto durante el tiempo de guarda (esa posición queda bloqueada en ese tiempo) y tampoco permite la escritura de la dirección de entrada (MAC origen) en otra parte de la memoria.

La anotación en la tabla de una entrada (tupla) activa el temporizador programable de captura que bloquea dicha entrada e impide su actualización, en particular el valor de la identidad de puerto por donde fue recibida (aprendida) la trama. Al ser anotada (aprendida) una dirección MAC origen asociada al puerto de entrada en la tabla caché, dicha asociación dirección origen-puerto de entrada es bloqueada, es decir, no puede modificarse durante el tiempo de bloqueo/guarda ni pueden crearse nuevas asociaciones de dicha dirección MAC a otros puertos del mismo puente.

Desde cada puente se reenvían las tramas recibidas con dirección de destino de difusión (broadcast), no solamente por los puertos habilitados por el protocolo de árbol de expansión sino que son reenviadas por todos los puertos del puente, excepto el puerto por el que primero se recibió la trama en el puente y por los por puertos que impliquen realizar a la trama un giro prohibido (giro abajo-arriba).

En cada puente que se recibe una trama, solamente se anota una entrada en la caché (tabla u otro tipo de registro en el puente) con la dirección origen de la trama, cuando no existe previamente una entrada con la misma dirección origen y en tal caso, se registra la identidad del puerto de entrada de la trama y el instante de su llegada. Opcionalmente, puede asignarse un identificador de trama, resultado de una operación lógica con algunos o todos los valores de los campos de la trama recibida (por ejemplo, el campo de la dirección destino), para usarse en el acceso a la entrada.

En cada puente que se recibe una trama, se descartan todas las tramas idénticas (con el mismo contenido) que son recibidas, durante el intervalo de bloqueo (período de guarda), por puertos distintos al que causó el registro de la (misma) dirección MAC origen en la tabla caché. También, son descartadas las tramas semejantes (las que dan resultado coincidente al realizar una operación lógica sobre las mismas, tal como el chequeo de misma dirección origen).

Las tramas recibidas tienen una dirección MAC destino, que puede ser de difusión ("broadcast") o unidestino ("unicast", dirección que corresponde a un único "host"), entre otras posibles direcciones destino.

Los puentes que soportan el protocolo propuesto (puentes FastPathUD) ofrecen dos alternativas para el reenvió de las tramas unidestino que no conocen.

En la primera alternativa, a diferencia de los puentes estándar 802.1D, los puentes FastPathUD no reenvían la trama recibida por todos los puertos restantes (cuando la dirección MAC destino no existe asociada a ningún puerto en la caché o ha caducado), sino que modifican y devuelven la trama por el puerto recibido hacia el puente frontera que la emitió, intercambiando sus direcciones origen y destino y modificando un campo que indica ruta caducada. Este procedimiento de desaprendizaje de rutas mediante tramas devueltas se detalla más adelante.

Se entiende por puente frontera destino (también denominado como puente designado) el puente conectado directamente al terminal ("host") destino y que se encarga de enviar y recibir sus tramas. El puente frontera destino de dicha trama realiza un nuevo establecimiento de ruta mediante una trama de difusión con dirección origen la de dicho puente. Opcionalmente, cada puente receptor de una trama de difusión responde a dicha trama por el puerto donde primero fue recibida con una nueva trama de establecimiento parcial de camino, cuya dirección origen es la de dicho puente y su dirección destino la del puente frontera origen, el puente conectado al terminal origen de la trama recibida. Este mecanismo opcional permite consolidar los caminos entre puentes intermedios y el puente frontera origen para su uso por otras tramas.

En la segunda alternativa, los puentes FastPathUD que reciben una trama con dirección unicast destino desconocida la etiquetan con una identificación de VLAN (que puede ser la VLAN ID por defecto) y la reenvían por el árbol de expansión de la forma estándar 802.1D, no realizándose establecimiento de camino FastpathUD en el resto del trayecto. Las tramas desviadas del trayecto por el árbol recorren el árbol de expansión mediante mecanismo de difusión con o sin (según opción de configuración o implementación) aprendizaje hacia atrás estándar de la dirección origen. Si se emplea aprendizaje hacia atrás en el árbol de expansión, las tramas de respuesta recorren en sentido inverso el mismo camino que las tramas recibidas, la primera parte por el árbol de expansión a través de los enlaces donde fue aprendida la dirección y, una vez alcanzado el puente FastpathUD que realizó el desvío al árbol de expansión, recorren el camino FastpathUD hasta el terminal origen. Si no se emplea aprendizaje hacia atrás, las tramas son difundidas por todo el árbol de expansión hasta alcanzar el terminal destino.

Adicionalmente, el protocolo de encaminamiento y reenvió de las tramas de datos en un puente frontera puede encapsularlas con una cabecera cuyos campos origen y destino son una dirección MAC local jerárquica (HLMAC), que está contenida como prefijo de las direcciones de los puentes y estaciones conectados al puente frontera. En este caso, el puente frontera elige destino entre sus rutas disponibles, seleccionando aquel puente cuyo prefijo compartido con la dirección del terminal destino es más largo y tiene ruta activa.

El protocolo de creación y mantenimiento de caminos FastPathUD permite asimismo la configuración y reconfiguración de caminos simétricos en la red de puentes, mediante el envió periódico de tramas entre puentes frontera que mantienen aprendidos los caminos entre ellos con mecanismos adicionales de comprobación de estabilidad y simetría del camino entre los puentes en ambos sentidos. Los puentes envían opcionalmente unos paquetes o tramas trazadores, periódicamente en secuencias predeterminadas y conocidas por todos los puentes, lo que permite a los puentes receptores verificar la disponibilidad, estabilidad y optimización de la ruta rápida al comparar los resultados de la recepción del mismo paquete trazador por diversos puertos. Los paquetes trazadores tienen como dirección origen cada uno de los puentes FastPathUD frontera y pueden tener como dirección de destino la correspondiente a un único puente frontera destino ("unicast") para mantener un camino establecido entre puentes, o bien, una dirección de difusión ("broadcast").

Adicionalmente, el protocolo FastpathUD utiliza mecanismos de prohibición de giros para evitar los bucles en la difusión de tramas. La utilización para el control de los giros de las direcciones asignadas en orden por la distancia de cada nodos/puente al nodo raíz evita la necesidad de ejecutar un algoritmo centralizado en la red que determine los giros permitidos y prohibidos. El procedimiento para evitar los bucles por prohibición de giros se ejecuta en cada nodo de forma independiente a partir de: su dirección asignada (por ejemplo, HLMAC), las de los nodos anterior y siguiente en la ruta y, opcionalmente, para optimización, las direcciones origen y destino de la trama. Los puentes impiden ejecutar los giros prohibidos a las tramas de usuario aunque ello suponga no utilizar un camino mínimo.

Puesto que el protocolo FastPathUD asigna las identidades según distancia creciente al puente raíz, la dirección (identidad) del nodo/puente raíz es siempre la menor y crece al ir bajando por el árbol, lo que garantiza una efectividad alta en la prohibición de giros y el que la red no quede desconectada. De esta forma, siempre es posible alcanzar cualquier nodo de la red a través de caminos formados por combinaciones arbitrarias de giros arriba/abajo, arriba/arriba y abajo/abajo, pero sin giro alguno abajo/arriba, asegurando esto último la inexistencia de bucles.

Asimismo, el protocolo de encaminamiento que se describe también incluye:

- Un proceso opcional de desaprendizaje (borrado) de rutas aprendidas, mediante tramas devueltas hacia la dirección MAC origen por el puente que las recibe, modificando la trama a retornar (en un campo tal como la identidad de VLAN o bit) con direcciones MAC universales o locales HLMAC.

El proceso de desaprendizaje interviene opcionalmente en la reconfiguración de la red. El proceso de desaprendizaje (borrado) mediante devolución de las tramas con direcciones afectadas por una reconfiguración puede ser provocado por una calda de puente de red, enlace (perteneciente o no al árbol de expansión) y opcionalmente por caducidad de las direcciones si no se utiliza el reenvió por el árbol de expansión de las tramas con dirección unicast desconocidas por el puente.

El protocolo FastPathUD permite la reconfiguración de la red debida a una calda de un enlace, que pertenece o no al árbol de expansión. En todos los casos, el mecanismo estándar de borrado de direcciones MAC aprendidas es aplicado tanto para el borrado de direcciones MAC universales o locales aprendidas en los puertos (función estándar de los puentes 802.1D) como de las direcciones locales (o locales jerárquicas: HLMAC) asignadas a los puentes con ayuda del protocolo RSTP. Durante la reconfiguración del árbol de expansión, el reenvío de tramas por los puertos se bloquea de acuerdo a dicho protocolo. El control de giros arriba/abajo va ligado igualmente a la reconfiguración del protocolo RSTP, dado que las direcciones locales/HLMAC se asignan de acuerdo a dicho protocolo. Cuando se habilita el puerto raíz de un puente por el protocolo RSTP es cuando el puente adquiere una dirección local válida a efectos de control de giros arriba/abajo.

En el caso de que la reconfiguración de red se produzca por la caída de un enlace, se hace necesario el borrado de las direcciones aprendidas en los dos puertos del enlace. Cuando se detecta la caída del enlace, de forma local o a través del protocolo RSTP, los puentes de sus extremos actúan borrando todas las direcciones aprendidas mediante FastPathUD en el puerto conectado a dicho enlace en fallo. Cuando se reciba una trama unicast con destino según una de las dos posibles variantes de implementación que se describen del mecanismo de desaprendizaje:

i) Implementación del desaprendizaje preferida cuando se emplean direcciones UMAC: Usando una BPDU del protocolo FastPathUD, dentro del tipo Ethernet correspondiente a los protocolos estándar 802. Esta BPDU usa como dirección destino la dirección de grupo multicast de todos los puentes FastPathUD y utiliza el mismo encapsulado LLC (encabezado IEEE 802.2 LLC: “Logical Link Control”) que las BPDUs de árbol de expansión. La BPDU del protocolo FastPathUD también incluye, en la carga de datos (“data payload”), la dirección destino del paquete de borrado y la o las direcciones no alcanzables. Cada puente que recibe dicha BPDU la procesa, borrando dichas direcciones de la caché de su puerto donde aún eran válidas, y la reenvía inmediatamente al siguiente puente en el camino de vuelta de la trama a su origen.

ii) La otra variante de implementación, posible cuando se emplean direcciones HLMAC que disponen de bits libres en su parte menos significativa, consiste en usar tramas de datos con el bit menos significativo de la dirección origen (bit situado en el extremo derecho de la dirección local o HLMAC, separado de la dirección válida HLMAC por uno o más bits a cero) activado a “1”. Este valor de dicho bit es interpretado por los puentes FastPath atravesados como desaprendizaje de dirección. Cuando un puente recibe por un puerto una trama dirigida a una dirección que fue aprendida en dicho puerto, la devuelve por el puerto donde se recibió pero convertida (poniendo el bit menos significativo de la dirección origen a “1”) en trama de borrado de camino (desaprendizaje de direcciones). Para devolver la trama, el puente además la modifica poniendo como dirección destino la dirección MAC origen que contenía (la dirección del puente de entrada si se utiliza encapsulado en el puente FastPathUD de entrada) y el puente pone su propia dirección (HLMAC o identificador local secuencial asignado con RSTP) para reemplazar la dirección origen de la trama. El puente envía la trama de borrado por el puerto por el que se recibió, recorriendo el camino inverso y borrando su dirección origen de las cachés de los puertos de entrada de los puentes atravesados. El puente frontera de entrada, al verificar que la trama de borrado va dirigida a él, establece mediante ARP un nuevo camino al destino mediante difusión, reconvierte la trama a su formato original y la reenvía al terminal destino por el nuevo camino encontrado. En esta implementación, la dirección de destino de la trama es la del puente frontera, si existe encapsulado, o la dirección HLMAC del terminal destino, si no existe encapsulado. El puente frontera, al detectar el bit de desaprendizaje y su dirección coincidente en prefijo con el terminal destino, intercepta la trama, la procesa borrando la o las direcciones aprendidas, activa un nuevo proceso de creación de camino bidireccional al terminal destino y descarta la trama.

En el protocolo RSTP, en un enlace que pertenece al árbol de expansión RSTP, el puerto conectado al puente padre (superior en el árbol de expansión) tiene el rol de designado y el puerto al puente hijo el rol de puerto raíz. En el caso particular de que la reconfiguración se produzca por una caída de un enlace que pertenece al árbol de expansión, deben elegirse nuevo puerto designado y raíz en los puentes afectados. Se bloquean los puertos correspondientes, los cuales se habilitan una vez que se ha completado el acuerdo entre los dos puentes implicados: puerto designado del puente

jerárquicamente superior y puerto raíz del puente jerárquicamente inferior conectado, dentro del árbol de expansión jerárquico. Las ramas implicadas borran las UMAC aprendidas. La reconfiguración, que se difunde a través de la red por los bits indicadores ("flags") de la BPDU (en los bits "flags" que indican notificación de cambio de topología: "Topology Change"), de manera similar a RSTP, produce el borrado de las direcciones locales en todos los puentes y de sus cachés de puerto. El borrado de direcciones (mediante "MAC flush") puede ser total o parcial. Al recibir cada puente la notificación de cambio de topología, borra las direcciones locales y bloquea el envió de tramas de usuario hasta que se habilite el árbol de expansión.

También es posible la reconfiguración de la red provocada por la calda de un puente con el protocolo FastPathUD. En este caso, si el puente no es puente hoja, el árbol de expansión lo atraviesa, por lo que se produce una reconfiguración similar a la descrita anteriormente, pero afectando a todos los enlaces del puente.

Adicionalmente, la devolución de las tramas para el desaprendizaje puede incluir encapsulado en los puentes frontera.

La reconfiguración de la red está controlada de forma indirecta por el protocolo de árbol rápido de expansión RSTP [IEEE 802.1D 2004]. Este protocolo se emplea en los puentes FastPathUD como protocolo auxiliar como base para la asignación de direcciones locales HLMAC, el instante de validez de las mismas y la reconfiguración de roles y estados de los puertos. Un puente tiene una dirección HLMAC válida en el momento en que su puerto raíz establece el acuerdo de paso a estado de reenvió con el puerto designado del puente padre. El resto de puertos del puente tendrá el rol de designado, alternate o back-up. Los puertos designados repiten a su vez el proceso estándar 802.1D de propuesta y acuerdo con los puertos raíz de los puentes hijos en el árbol. Así pues, los puertos raíz y designado de cada puente utilizan el mecanismo de RSTP para pasar a estado de reenvío.

Los puertos con rol de alternate o back-up son los que corresponden a los enlaces redundantes, también llamados enlaces cruzados (que unen ramas distintas del árbol de expansión o nodos de una misma rama) y son los normalmente bloqueados por el protocolo de árbol de expansión, pero que el protocolo FastPathUD permite utilizar respetando las restricciones de giros arriba/abajo para evitar bucles. Estos puertos pasan a estado de reenvío (forwarding) mediante un proceso similar al de RSTP, de propuesta y acuerdo con el puerto conectado al otro extremo del enlace mediante los bits de propuesta y asentimiento de la BPDU de RSTP. Pero para que el acuerdo de paso de estado a reenvío se establezca, ambos puentes deben tener una dirección HLMAC válida y haber completado su reconfiguración, es decir, deben haber alcanzado el estado de reenvío todos sus puertos designados y además haber expirado un temporizador configurable del puente, arrancado al completar todos los puertos designados su paso a reenvío. Esta temporización asegura la estabilidad de las direcciones HLMAC en toda la red cuando los puertos de los enlaces cruzados (con roles Alternate y Back-UP) se habilitan.

En caso de fallo de un enlace perteneciente al árbol de expansión, el puerto raíz del puente hijo pierde su rol de raíz y dicho puente selecciona como nuevo puerto raíz el puerto que recibe una mejor BPDU de todos ellos. El paso a reenvío de dicho puerto raíz valida la asignación de la nueva HLMAC al puente hijo recién conectado al nuevo puente padre. Los puertos designados transmiten su nueva dirección HLMAC hacia abajo. Toda la rama del árbol dependiente del puente hijo modifica su dirección HLMAC con arreglo al nuevo prefijo HLMAC del puente hijo.

En caso de fallo de un enlace no perteneciente al árbol de expansión (enlace cruzado), los dos puertos conectados a dicho enlace pasan todas las conexiones y direcciones aprendidas a estado de dirección inalcanzable y los respectivos puentes, cuando reciben paquetes destinados a esas direcciones inalcanzables, devuelven en forma de paquete de desaprendizaje NACK(destino) cada paquete recibido con destino un terminal o puente anteriormente aprendido como alcanzable a través de el puerto en fallo. Cuando llega al puente una trama de datos unidestino ("unicast") con origen S y destino D con una dirección inalcanble, el puente responde enviando hacia atrás un paquete NACK(D) dirigido al nodo frontera (o terminal origen caso de no usarse encapsulado) indicando al puente precedente la indisponibilidad de camino hacia el destino D. Este puente al recibir el paquete NACK(D) pone en inalcanzable la dirección D y reenvía hacia atrás el paquete NACK(D) hasta llegar al puente frontera origen, el cual establece un nuevo camino al destino D mediante un paquete "ARP Request".

El protocolo aquí descrito permite extender y modificar el protocolo estándar 802.1D aumentando su rendimiento hasta acercarlo al de un protocolo de caminos mínimos. Además, FastPathUD continúa utilizando el protocolo estándar ARP para la resolución de la dirección IP a la dirección MAC, sea ésta universal (UMAC), local o local y jerárquica (HLMAC).

Según el uso de las direcciones para establecer los caminos por el protocolo FastPathUD, existen diversos modos de operación alternativos que se describen a continuación.

A) *Funcionamiento sin encapsulado con direcciones MAC universales (UMAC)*

En este modo de operación las tramas Ethernet enviadas por los terminales con direcciones UMAC no son modificadas por los puentes frontera.

La estación o el terminal ("host") origen S envía un paquete ARP (u otro de funcionalidad similar conteniendo la IP destino) con dirección de difusión de capa dos (FF: FF:FF:FF:FF:FF).

El puente frontera designado del terminal (puente de entrada a la red FastPathUD) recibe el paquete "ARP Request" y lo retransmite por todos los puertos excepto el de entrada. El puente aprende la dirección UMAC origen (del "host" emisor) y la asocia al puerto por el que se recibió, abriendo también una conexión provisional ligada al par IPorigen-IPdestino contenidos en el paquete "ARP Request". Esa conexión IPorigen-IPdestino se confirma cuando el puente recibe un paquete "ARP Reply" de contestación del terminal destino por el camino de regreso.

A fin de asegurar la simetría de caminos y prevenir el casual establecimiento simultáneo de dos caminos, cuando un puente frontera emite un paquete "ARP Request" por sus puertos, activa un temporizador durante el cual lo retiene y si recibe algún paquete "ARP Request" en sentido inverso (es decir con el mismo par de direcciones IP pero en posiciones contrarias IPorigen-IPdestino respecto al paquete ARP emitido por el puente frontera origen, no contesta a fin de evitar el establecimiento de un camino no simétrico, no coincidente en ambas direcciones entre origen y destino).

Los puentes intermedios (los que no son puentes frontera) operan de la misma forma y adicionalmente, si estando la conexión en estado provisional en un puente intermedio, se recibe un paquete "ARP Request" que contiene el mismo par de direcciones como IPorigen-IPdestino (independientemente de que aparezcan como origen o destino), por igual o distinto puerto, este paquete se ignora en cuanto a establecer una nueva conexión provisional.

Entonces, el paquete "ARP Request" se reenvía por todos los puertos permitidos por la prohibición de giros arriba/abajo hasta alcanzar los terminales. La conexión provisional se mantiene un tiempo suficiente para recibir el paquete "ARP Request" del destino, tiempo que debe ser superior al tiempo de ida y vuelta esperable de la red en condiciones de alta carga. Al recibir por uno de sus puertos el paquete unidestino "ARP Reply" con destino la dirección UMAC origen del "ARP Request" y correspondiente al par IP_origen-IP_destino de la conexión provisional, el puente hace fija la conexión asociando a las tablas de los respectivos puertos las direcciones UMAC origen y destino, y borrando la conexión provisional creada.

Si el terminal no envía paquete ARP (por tener el destino en su tabla ARP (tabla donde el terminal almacena las identidades, direcciones IP y direcciones MAC de los terminales destino utilizados recientemente o preconfigurados) o por otra razón, y el puente frontera no tiene camino conocido al destino, el puente retiene el paquete unicast, genera y envía un paquete ARP Request para establecer el camino y, una vez respondido, procede al reenvío del paquete unicast por el camino creado. Opcionalmente, el puente puede enviar el paquete por el árbol de expansión de forma convencional, etiquetándolo con la VLAN correspondiente.

B) *Funcionamiento con direcciones locales jerárquicas (HLMAC) sin encapsulado y con sustitución de UMACs*

En esta implementación, el terminal origen utiliza igualmente direcciones MAC universales, pero las tramas no son encapsuladas en el puente frontera sino que éste realiza un reemplazamiento de la MAC universal origen por la HLMAC del puerto que conecta el terminal al puente frontera. El carácter jerárquico de las direcciones HLMAC, por el que la dirección HLMAC del puente de entrada es un prefijo de las direcciones de los terminales conectados a él, hace posible en este caso el establecimiento y control de caminos entre los puentes y la agregación de diversas rutas entre terminales por dichos caminos.

El funcionamiento del establecimiento de camino mediante tramas o paquetes ARP es el siguiente:

El terminal envía una trama ARP (u otra de funcionalidad similar conteniendo IP destino) con dirección de difusión (FF:FF:FF:FF:FF:FF). El puente frontera o designado (puente de entrada a la red FastPathUD) recibe el paquete ARP, reemplaza la UMAC del campo origen en la trama Ethernet por la dirección HLMAC del terminal (que simplemente es igual a la dirección HLMAC del puente frontera extendida con el numero de puerto que une el puente al terminal), recalcula el código de comprobación y lo retransmite por todos los puertos excepto el de entrada. El puente aprende la dirección UMAC y la asocia al puerto por el que se recibió y por tanto a la HLMAC asignada al terminal. El puente crea una conexión (unión de dos terminales origen y destino) provisional identificada por el par IPorigen-IPdestino contenidos en el paquete ARP, conexión que se confirma al recibir el paquete "ARP Reply" de contestación del terminal destino por el camino de regreso, el cual debe utilizar exactamente los mismos enlaces que el camino de ida, de origen a destino. Dicha conexión solamente se crea si no estuviera creada antes, como se indica más abajo.

El puente reenvía el paquete de difusión ARP, modificado con la dirección UMAC del terminal origen sustituida por la dirección HLMAC, por todos sus puertos excepto el de entrada y los que implican un giro prohibido. Cada puente que recibe el paquete ARP abre igualmente una conexión provisional ligada al par IPorigen-IPdestino. Si estando la conexión en estado provisional se recibe un ARP con par IPorigen-IPdestino idéntico o inverso (origen y destino IP intercambiados), por el mismo o distinto puerto que la conexión existente, este paquete se ignora en cuanto a establecer una nueva conexión provisional y se reenvía, si no es un paquete detectado como duplicado, por todos los puertos permitidos por la prohibición de giros arriba/abajo. La conexión provisional se mantiene un tiempo suficiente para que se reciba en operación normal de la red el paquete "ARP Reply" del destino, tiempo superior a dos veces el tiempo de ida y vuelta máximo de caso peor. Al recibir por uno de los puertos el paquete ARP Reply unidestino conteniendo como dirección destino la dirección MAC origen del ARP Request y correspondiente al par IPorigen-IPdestino de la conexión provisional establecida, el puente hace fija la conexión asociando a las tablas de los respectivos puertos las direcciones MAC origen y MAC destino, y borrando la conexión provisional creada. Esta conexión bidireccional requiere ser renovada periódicamente en cada sentido por el tráfico con origen y destino ambos terminales de la. conexión. La renovación puede operar como en los puentes 802.1D en que la dirección MAC origen

renueva la caché de direcciones del puerto donde se recibe, o de forma bidireccional, en la que la dirección destino de los paquetes de datos unicast también actúan renovando los temporizadores de las cachés correspondientes a los puertos origen (lo que se denomina renovación hacia delante).

Si el terminal no envía ningún paquete ARP (por tener el destino en su tabla ARP o por otra razón), el puente frontera recibe un paquete para cuya MAC destino no dispone de puerto de salida (ruta) conocido. En este caso el puente frontera construye y envía un paquete de petición de establecimiento previo para establecer el camino.

C) *Establecimiento y mantenimiento de caminos entre puentes frontera con HLMAC*

Cada puente frontera puede establecer caminos con todos los demás puentes al inicializarse o solamente cuando tiene algún terminal activo conectado. El procedimiento de establecimiento de caminos por defecto es el descrito más arriba que está basado en los paquetes ARP enviados por el terminal.

El puente puede alternativamente y de forma autónoma enviar un paquete de establecimiento de camino con dirección origen su dirección HLMAC y con dirección de destino la dirección multidestino o "multicast" que engloba todos los puentes FastPathUD.

El tipo de paquete puede ser el de "petición de establecimiento total de caminos". Cada puente FastPathUD que recibe dicho paquete establece una conexión provisional con dicho puente frontera vinculada al puerto por donde primero recibió dicho paquete de establecimiento de camino. El puente aprende la dirección HLMAC origen de la trama recibida (la del puente frontera origen) y la asocia al puerto por el que se recibió. El puente crea una conexión (unión de dos puentes frontera origen y destino) provisional unidireccional identificada por la HLMAC del puente frontera origen del paquete de petición de establecimiento de conexión (COMPLETE_CONNECT_REQUEST), conexión que confirma cada puente frontera destino de forma individual: cada puente que recibe dicho paquete de petición de conexión genera un paquete de confirmación de camino parcial (PARTIAL_CONNECT_CONFIRM) con dirección origen la HLMAC del puente intermedio alcanzado y con dirección destino la HLMAC del puente frontera origen. Este paquete (PARTIAL_CONNECT_CONFIRM) indica al puente frontera origen la progresión del establecimiento de la conexión provisional y confirma el camino en sentido contrario salto a salto asociando la dirección HLMAC del puente alcanzado al puerto de cada puente atravesado por el paquete de confirmación hacia el puente frontera origen. Al llegar la petición de conexión a cada uno de los puentes frontera de la red, cada uno de ellos genera un paquete de confirmación de conexión (CONNECT_CONFIRM) con dirección origen su dirección HLMAC y dirección destino la del puente frontera origen del paquete de petición recibido, y lo envía por el mismo puerto asociado al paquete de petición recibido. Al recibir este paquete hacia atrás, se aprende en los puentes la dirección HLMAC del puente frontera destino, confirmándose la conexión provisional establecida en todos puentes.

En cualquiera de las posibles implementaciones, para que el aprendizaje de direcciones MAC funcione es preciso que los caminos FastPathUD establecidos entre puentes frontera en la red sean exactamente simétricos y atraviesen los mismos enlaces en sentido de ida y de vuelta. El mecanismo opcional de establecimiento confirmado paso a paso descrito más arriba contribuye a dicho fin. Los puentes frontera utilizan mecanismos adicionales para el control de la simetría de los caminos establecidos. Al recibir un paquete CONNECTION_CONFIRM por un puerto, asocian de forma permanente dicho puerto al puente frontera destino. Para confirmar la disponibilidad del camino, cada puente frontera envía periódicamente paquetes de refresco y verificación PATH_REFRESH con destino cada uno de los puentes frontera destino. Estos paquetes mantienen activos los caminos y permiten la comprobación de su disponibilidad a los puentes. Cada puente frontera emisor espera recibir paquetes de REFRESH_CONFIRM de cada puente destino marcando y confirmando en cada puente atravesado el camino contrario. El puente frontera emisor verifica que el puerto receptor del paquete de confirmación REFRESH_CONFIRM es el mismo puerto por el que se envió el paquete PATH_REFRESH. Cada puente atravesado verifica igualmente que los puertos receptor y transmisor para esos destinos concuerdan con los del camino establecido. Si difieren, la conexión se borra y se devuelve un paquete de REFRESH_REJECT hacia el origen para notificar la invalidez y el borrado de la conexión y provocar el establecimiento de una nueva conexión.

Cuando se emplea la confirmación opcional del camino en cada puente, al establecer un camino a un puente frontera se establecen los caminos a los puentes intermedios. Cada puente anota dichos caminos de forma que no es preciso establecerlo de nuevo.

Las principales diferencias del protocolo de encaminamiento FastPathUD con respecto al encaminamiento "jerárquico" que existe en UETS son:

- El encaminamiento en UETS se basa en la decodificación progresiva de las direcciones jerárquicas locales Ethernet asignadas con arreglo a la topología de la red. En FastPathUD, el direccionamiento está basado en árbol y no en la topología, la cual solamente se emplea para la prohibición de giros en la prevención de bucles.

- Las direcciones en UETS están biunívocamente ligadas al encaminamiento etapa a etapa y el encaminamiento es determinado por el direccionamiento asignado. En FastPathUD, el encaminamiento se basa en el aprendizaje por los puentes (en el plano de datos) de los caminos mínimos dentro de los permitidos, establecidos mediante inundación restringida por prohibición de giros Up/Down.

A continuación se resumen características, ventajas e inconvenientes de las distintas variantes de la invención descritas anteriormente, usando o no encapsulado en el encaminamiento de las tramas. En todos los casos se supone desvío de las tramas con dirección unidestino ("unicast") desconocida por el árbol de expansión y que las tramas llevan la etiqueta VLAN T ("VLAN Tree") correspondiente al árbol.

a) Encaminamiento sin encapsulado y empleando UMACs en los terminales: El encaminamiento de direcciones unicast desconocidas por el árbol de expansión utiliza difusión sin aprendizaje. Los puentes usan HLMACs para aplicar control de giros arriba/abajo, pero no es posible encaminar mediante la HLMAC porque la trama solo lleva la UMAC.

b) Encaminamiento con encapsulado HLMAC y empleando UMACs en los terminales: En esta variante si es posible el encaminamiento por el árbol vía HLMACs. Las principales ventajas son: menor número de direcciones MACs a aprender en cada puente (factor 10-100), es posible un encaminamiento proactivo realizado por los puentes más controlado y robusto, y evita la difusión innecesaria de tramas por el árbol.

c) Encaminamiento con encapsulado ULMAC y empleando UMACs en los terminales: Requiere mecanismo de direcciones Up/Down y un proceso adicional de reconfiguración.

d) Encaminamiento con sustitución de direcciones MAC por direcciones HLMAC (proceso "NAT", en inglés) y empleando UMACs en los terminales: La HLMAC contiene dirección de puente (prefijo) y de terminal (sufijo, número del puerto). Es posible el encaminamiento por el árbol sin difusión usando la HLMAC. Es un encaminamiento proactivo establecido por los puentes. Las ventajas son que precisa menor número de direcciones MAC a aprender y sólo requiere aprender el prefijo del puente en vez de los de los terminales. Son necesarios mecanismos de control de consistencia de las cachés ARP en los terminales.

Resumidamente, otras ventajas de la invención sobre el estado de la técnica anterior son:

- Frente a los protocolos que encaminan tramas, permite agregar rutas entre los puentes frontera mediante el direccionamiento jerárquico.

- Frente a los protocolos operan en el plano de control como LSOM ("Link State Over MAC") y otros como HURP que asignan direcciones locales jerárquicas (HLMAC), no requiere intercambio periódico de rutas entre puentes, operando de forma transparente mediante aprendizaje hacia atrás sobre las tramas de datos.

- Frente a los protocolos no compatibles con el formato de trama Ethernet, el protocolo es compatible.

- Frente a los protocolos que utilizan encapsulado adicional de la trama para el reenvío, el encapsulado (tunnelling) de la trama no es imprescindible realizarlo para la difusión en una red campus de conmutadores.

- Frente al estándar 802.1D, permite el uso de toda la infraestructura de red sin bloquear enlaces transversales redundantes, limitando solamente algunos giros en los conmutadores.

- Frente a MSTP y la propuesta IEEE en el 2005 denominada "Shortest Path Bridging" (http://www.ieee802.org/802_tutorials/july05/nfinn-shortest-path-bridging.pdf), el protocolo no requiere procedimiento alguno en el plano de control para los caminos transversales aparte de la asignación de direcciones, ni requiere la construcción de árboles múltiples de expansión, ni intercambio de rutas entre conmutadores.

- Al igual que en el encaminamiento arriba-abajo, los caminos son cercanos en promedio al retardo mínimo obtenido por encaminadores de camino mínimo, porque la fracción de giros prohibidos respecto al total de giros posibles en la topología es pequeña.

- Alta escalabilidad sin obligatoriedad de encapsulado adicional.

- Mantenimiento de los mecanismos estándar de difusión ("broadcast") y multidifusión ("multicast") 802.1D en capa dos de OSI.

- Compatibilidad con los protocolos estándar ARP y DHCP y con los equipos terminales (PC) y servidores actuales (Windows en todas sus versiones y Linux) sin necesidad de cambios software ni hardware.

Otro aspecto de la invención se refiere a un dispositivo de interconexión de subredes, más concretamente, un puente de red ("bridge"), aquí bautizado como puente FastPathUD, que opera en el nivel de enlace de datos (capa 2) según el protocolo de red que crea el árbol de expansión utilizado para asignar a los puentes direcciones ordenadas. Este dispositivo constituye un puente de red que es autoconfigurable y se basa en el funcionamiento de sus puertos en al menos dos modos, simultánea o alternativamente: en modo estándar como puente convencional (802.1D) y en modo jerárquico operando mediante el protocolo FastPath.

Un aspecto más de la invención se refiere a una red conmutada con uno o más dispositivos de interconexión de subredes que constituyen los puentes de red FastPathUD propuestos y a la que se puede añadir al menos un puente de red convencional que opera exclusivamente según el protocolo estándar 802.1D.

Descripción de los dibujos

Para complementar la descripción que se está realizando y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características del invento, de acuerdo con un ejemplo preferente de realización práctica del mismo, se acompaña como parte integrante de esta descripción, un juego de dibujos en donde con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

La figura 1.- Muestra un diagrama de bloques con los procesos principales del procedimiento de encaminamiento, según una realización preferida de la invención.

La figura 2.- Muestra una representación esquemática en árbol de una red de telecomunicaciones, donde los nodos del árbol representan puentes de red y los enlaces de conexión entre nodos representan los posibles caminos establecidos.

La figura 3.- Muestra el formato de una trama BPDU del protocolo de árbol de expansión rápido, conocido en el estado de la técnica.

La figura 4.- Muestra el formato de una trama BPDU usada por el protocolo de creación y mantenimiento del árbol de expansión, según una posible realización.

La figura 5.- Muestra un ejemplo de asignación de direcciones en el árbol de expansión creado según una realización preferida de la invención usando direcciones locales jerárquicas.

La figura 6.- Muestra una representación esquemática de una red de puentes y del encaminamiento de tramas, de acuerdo al objeto de la invención, para obtener los caminos entre estaciones terminales.

La figura 7.- Muestra un diagrama de bloques del proceso de reenvió de tramas implementado por un puente de red según una realización preferida de la invención.

La figura 8.- Muestra el proceso para el establecimiento de camino bidireccional que usa encapsulado con direcciones locales jerárquicas, según una posible realización de la invención.

La figura 9.- Muestra el proceso para el establecimiento de camino bidireccional sin utilizar encapsulado y que sustituye en los puentes frontera direcciones universales por locales, según otra posible realización de la invención.

La figura 10.- Muestra el proceso para el establecimiento de camino bidireccional sin utilizar encapsulado y usando direcciones universales, según otra posible realización de la invención.

La figura 11.- Muestra el proceso de desaprendizaje de direcciones.

La figura 12.- Muestra el proceso de desvío y difusión por el árbol de expansión estándar, de tramas con dirección destino desconocida en un puente intermedio, según una posible realización de la invención.

La figura 13.- Muestra el proceso de encaminamiento de tramas con dirección destino caducada en los puentes intermedios, usando reenvío por el árbol en los respectivos sentidos de ida y vuelta del camino bidireccional y decodificando direcciones HLMAC, según una posible realización de la invención.

La figura 14.- Muestra el proceso de encaminamiento de tramas con dirección destino caducada en los puentes intermedios, usando reenvío por el árbol en el sentido de vuelta del camino bidireccional y sin aprendizaje en los puentes intermedios, según otra posible realización de la invención.

Descripción detallada de la invención

Puede describirse una realización preferida de la invención como un protocolo de red del nivel de enlace de datos o capa dos, que se ejecuta dentro de una red de telecomunicaciones, como puede ser una red campus, en cada uno de los puentes de red y que lleva a cabo los procesos indicados en la Figura 1:

(1) proceso o protocolo de construcción y mantenimiento del árbol de expansión;

(2) protocolo de asignación de direcciones a puentes según distancia a puente raíz, descubrimiento de vecinos y obtención de giros prohibidos;

(3) procesos de establecimiento de caminos y de reenvío de tramas.

Dentro de los procesos de establecimiento de caminos, se distinguen los caminos por árbol de expansión y caminos FastpathUD -caminos más rápidos que los anteriores-.

Todos estos procesos (1, 2, 3) se ejecutan para realizar el encaminamiento de tramas según el procedimiento objeto de la invención, que aquí se ha llamado FastPathUD, denominando a los puentes de red donde se ejecutan los procesos de este procedimiento puentes FastPathUD.

FastPathUD es aplicable a una red de telecomunicaciones, que puede representarse mediante un árbol o grafo, como el ejemplo mostrado en la Figura 2, donde todos los nodos, dibujados como círculos, corresponden a puentes de red FastPathUD. Al final del árbol se dibujan terminales o "hosts" conectados a respectivos puentes frontera. Junto a los nodos aparecen las direcciones locales jerárquicas HLMAC, como ejemplo, asignadas a los puentes. En la Figura 2 se representan con trazo grueso los enlaces del árbol de expansión obtenidos mediante la ejecución del protocolo de creación y mantenimiento del árbol (1), de acuerdo a una posible realización de la invención. Junto a los trazos que representan enlaces de un nodo, se indican también como ejemplo, usando números en cursiva, algunos identificadores de puertos designados en el nodo.

La interconexión compatible de los puentes FastPathUD con los puentes 802.1D puede realizarse como se describe en ["Abridges: Scalable, self-configuring Ethernet campus networks", Ibáñez, G. A., Computer Networks, vol. 52, issue 3, pp. 630-649, 2008]. Así, en la conexión entre los diferentes tipos de puentes se emplean mecanismos de autoconfiguración que construyen un núcleo de puentes FAstPathUD a cuyos extremos se conectan árboles de expansión estándar formados por los puentes 802.1D, unidos a los puentes FastPathUD frontera que actúan como puentes raíz de los árboles de expansión respectivos.

Según una posible opción de realización, el protocolo de encaminamiento FastPathUD hace uso del encaminamiento arriba-abajo basándose en las direcciones HLMAC asignadas a los puentes de red. En este caso, conceptualmente, un puente FastpathUD puede verse como un encaminador de tramas con direcciones Ethernet locales jerárquicas que además puede incorporar la funcionalidad estándar de un puente convencional.

En la red ejemplo de la Figura 2, se muestran una serie de puentes FastpathUD de la que es elegido un puente raíz R suponiendo que, por configuración de la prioridad de los puentes, el puente R es el que posee un menor prefijo o número de identidad del puente de toda la serie.

A partir de dicho puente raíz R se construyen, según se muestra en la Figura 2:

- el árbol de expansión estándar 802.1D, formado por los nodos conectados por enlaces representados con línea fina;

- el árbol de expansión creado mediante el protocolo (1), con los enlaces en trazo grueso, donde se ejecuta el proceso de asignación de direcciones a puentes (2) asignando a los nodos direcciones locales por orden en base a la distancia al puente raíz R; en el ejemplo de la Figura 2, las direcciones locales son jerárquicas HLMAC.

El mecanismo de asignación jerárquica de direcciones aprovecha la construcción del árbol de expansión estándar por STP ó RSTP. La Figura 3 ilustra el formato de una BPDU estándar del protocolo de árbol de expansión RSTP. La Figura 4 ilustra su extensión, incorporando tras el último octeto de la BPDU estándar seis octetos más, octetos 36-41, para incluir la dirección local HLMAC del nodo que lo identifica en su conexión con un nodo vecino a través de un puerto designado.

Las BPDUs usadas por el protocolo FastPathUD son enviadas por cada puente FastPathUD a uno o varios de sus puentes vecinos. Tienen una dirección destino multicast específica que identifica a los puentes FastPathUD. Dichas BPDUs son procesadas por cada puente FastPathUD y reenviadas. Dentro de la BPDU del protocolo FastPathUD puede incluirse la dirección del puente de destino final de la misma BPDU, en cuyo caso cada puente protocolo FastPathUD inspecciona la trama, ejecutando la acción que proceda, como borrar las conexiones afectadas por un fallo, y a continuación la reenvía al puente vecino por el puerto por donde ha sido aprendido el puente de destino final.

En esta red, los puentes FastPAthUD pueden emplear todos los enlaces que les interconectan para encaminar tramas, siempre que el giro correspondiente no sea prohibido.

Los puentes FastpathUD manejan el formato de trama Ethernet estándar, sin necesitar encapsulado, dentro de la cual los campos de dirección MAC destino y dirección MAC origen son conforme al estándar 802.1D, estando definido cada campo por 48 bits agrupados en 6 octetos.

La Figura 5 ilustra un ejemplo de asignación de direcciones HLMAC a los puentes FastpathUD, utilizando una configuración por defecto de 8 bits de máscara por cada nivel del árbol de expansión a partir del segundo nivel y asumiendo que el puente raíz R del árbol de expansión tiene dos puertos designados a dos respectivos vecinos (C1, D1) cuyos identificadores/prefijos son respectivamente 5 y 32, por ejemplo. Los identificadores de los puertos de cada puente se representan en la Figura 5 en binario con 4 bits. El puente vecino D2 conectado al puente D1 por el puerto 0111 recibe una BPDU con dirección MAC local de valor 32.7 y conteniendo además toda la información

del protocolo STP/RSTP. Con esta información asigna la dirección a sus puertos designados respectivos, el puerto 0110 al puente D3 a través del que envía una BPDU con dirección 32.7.6 y el puerto 0001 al puente D5 a través del que envía una BPDU con dirección 32.7.1, habiendo añadido al final en las respectivas BPDUs la identidad del puerto designado. La anchura de la máscara en bits puede depender del nivel del puente en el árbol de expansión. Los puentes D4 y D5 están conectados por sus respectivos puertos, con identificadores 0001 y 0110 en el ejemplo, a unos equipos terminales, T1 y T2, los cuales a su vez reciben finalmente las BPDUS con direcciones 32.7.6.5.1 y 32.7.1.6 respectivamente. El puente C1 es un puente hoja que se conecta directamente a dos equipos terminales, T3 y T4, a través de los puertos designados, en el ejemplo, 0110 y 0001. El equipo terminal T3 recibe una BPDU con dirección local 5.6 y el equipo terminal T4 recibe otra BPDU con dirección local 5.1, en correspondencia con los prefijos de dichos puertos designados.

Cuando los puertos terminales de un puente FastpathUD están conectados a un solo equipo terminal, el puerto terminal designado puede realizar opcionalmente la sustitución de la dirección MAC universal origen en las tramas entrantes, tramas de datos que puede enviar el equipo terminal al puente, por la dirección MAC local jerárquica del puerto designado o de entrada. Este proceso de sustitución de direcciones MAC se denomina de forma abreviada en inglés "NAT" de MACs. En las tramas de vuelta hacia el equipo terminal se realiza la sustitución inversa, reinsertando la dirección MAC universal asignada universalmente al equipo terminal. El protocolo ARP se utiliza para la resolución de la dirección IP a la dirección MAC de forma totalmente compatible, sea ésta universal o local jerárquica.

Los puentes frontera pueden utilizar direcciones MAC universales, UMAC, en lugar de direcciones MAC locales o HLMAC. El proceso de establecimiento de caminos es idéntico al descrito para las direcciones HLMAC, excepto en que se utiliza un mecanismo de asignación secuencial de identificadores a los puentes según su distancia creciente al puente raíz R en el árbol de expansión y de reasignación de direcciones en caso de reconfiguración del árbol de expansión. Estos identificadores se utilizan por cada nodo para determinar los giros prohibidos y permitidos a través de él mediante el encaminamiento arriba/abajo.

La Figura 6 muestra un ejemplo de red de puentes transparentes FastpathUD y el encaminamiento de tramas usando los caminos FastpathUD de la red entre estaciones. Los enlaces transversales se representan con línea fina y los pertenecientes al árbol de expansión que asigna las direcciones locales se representan con línea gruesa, los giros prohibidos en la difusión de tramas están indicados mediante un arco punteado entre enlaces, los símbolos de flecha y cruz indican las tramas descartadas por llegar duplicadas al puente -caminos menos rápidos-, las flechas doble indican las tramas que recorren los caminos obtenidos por el protocolo FastPathUD -caminos más rápidos-, y cada círculo negro muestra un puerto aprendido capturado mediante el proceso de aprendizaje de los puertos asociados a la dirección de la estación origen de las tramas.

En el ejemplo de la Figura 6, la estación terminal S de dirección jerárquica 1.18.43.67.110.0 asignada según distancia al puente raíz, envía una trama ARP de difusión a toda la red. El puente 1.18.43.67.0 la recibe, anota la dirección y la asocia a la identidad del puerto de entrada y bloquea el registro que los vincula, arrancando un temporizador de bloqueo y un temporizador de caducidad de la dirección aprendida. Reenvía la trama a los puentes conectados a él. La Figura 6 representa que el puente 2.15.9.0.0.0 recibe la trama desde 1.18.43.67 antes que desde 2.15.0.0.0.0 por lo que la dirección de la estación se asocia al puerto marcado con un círculo negro en la figura y se bloquea la actualización de dicha entrada durante un intervalo de guarda. El puente 2.15.9.0.0.0 entrega la trama a la estación D. Otros puentes, como el 2.34.0.0.0., entregan la trama a otros terminales como el N y M, que igualmente la procesan comprobando si va destinada a ellos. Solamente el terminal D envía una trama de respuesta, ARP reply, con dirección MAC destino la de el terminal S. El puente 2.15.9.0.0.0 recibe la trama y registra la asociación de la dirección de D al puerto de entrada, indicado por un circulo blanco Por otra parte, tiene aprendida la dirección como asociada al puerto marcado con el círculo negro y lo reenvía por dicho puerto, estableciendo el camino simétrico de vuelta por donde se aprendió la dirección en el camino de ida.

La Figura 7 muestra un diagrama de bloques del proceso de reenvío de tramas que ejecuta el puente FastpahtUD y sigue estos pasos:

Simultáneamente a la recepción S1 de las tramas, se consulta el estado del puerto origen P1 y el del puerto destino P2 para ejecutar la topología activa S2, y a continuación se realiza un filtrado de tramas S3 de acuerdo a los datos de la caché DB2 que implementa el bloqueo del aprendizaje de la dirección origen de trama. Tras el filtrado de tramas S3, éstas pasan a distintas colas, en un paso de encolado de tramas S4 que tiene en cuenta el estado del puerto origen P1 y el del puerto destino P2. De las colas de tramas se seleccionan las tramas a transmitir S5. El bloque S6 se ocupa del control de giros prohibidos impidiendo el reenvío por enlaces que supongan giros prohibidos. Antes de efectuar la transmisión S8 de esas tramas, se hace una comprobación de dichas tramas para detectar errores S7, recalculando el campo FCS: "Frame Check Sequence".

Las tramas que se envían por el árbol de expansión mediante RSTP para el reenvío llevan una etiqueta "VLAN T" como identificación de VLAN, mientras que las tramas que usan los caminos FastpathUD van etiquetadas mediante una identificación de VLAN "VLAN F". También puede haber tramas sin etiqueta VLAN.

Las Figuras 8 (a) a (h) ilustran los sucesivos pasos del proceso de establecimiento de camino bidireccional o simétrico con un ejemplo que usa direcciones HLMAC.

En la Figura 8 (a), una estación terminal origen S envía una trama Ethernet, que no requiere encapsulado, con una dirección MAC origen la dirección MAC universal de la estación S y con una dirección MAC destino la dirección MAC de difusión; en el ejemplo, la dirección UMAC origen de la estación S es 00:07:e9:24:cb:c8 y la de la estación D destino es 00:09:12:21:a1:b3. El puente frontera origen, con la HLMAC 1.18.43.67.110.0 no conoce la UMAC de la estación S hasta que no llega la trama t1, que recibe sin encapsulado, como se representa en la Figura 8 (a) con la flecha de línea fina. La trama t1 contiene la dirección de difusión de capa dos FF:FF:FF:FF:FF:FF.

Una vez recibida la trama anterior en el puente frontera origen 1.18.43.67.110.0 por el puerto 110, el puente frontera la encapsula en una trama t2 con dirección origen 1.18.43.67.0.0 y aprende la UMAC 00:07:e9:24:cb:c8 de la estación S en el puerto 110 designado. La trama t2 con el encapsulado HLMAC se envía, como se representa en la Figura 8 (b) con la flecha de línea doble, por los caminos establecidos; en el ejemplo un único enlace del árbol de expansión al siguiente puente 1.18.43.67.0.0.

En las Figuras 8 (c) y (d), se representa con la flecha de línea doble la transmisión de la trama encapsulada t2 hasta alcanzar, por los caminos rápidos, la estación D destino, mientras que la flecha de línea punteada indica el envío de las tramas de establecimiento del camino inverso simétrico y la flecha con el aspa corresponde al descarte de tramas en los caminos menos rápidos.

Con ello en la Figura 8 (e) quedan establecidos los caminos simétricos entre puentes vecinos (enlaces dibujados con doble línea), así como el camino simétrico hasta el puente frontera origen (enlaces dibujados con doble línea gruesa).

La estación D manda su trama Ethernet de respuesta sin encapsular t3, como ilustra la Figura 8 (e), que es encapsulada por el puente frontera destino con su HLMAC 2.15.9.0.0.0. La trama Ethernet con el encapsulado HLMAC t4 es enviada a la dirección HLMAC origen 1.18.43.67.0.0 y de ahí, se envía la trama t5, a través del camino simétrico hasta el puente frontera origen, según ilustran las Figuras 8 (f) y (g). Finalmente, la Figura 8 (h) ilustra la trama de respuesta t3 de la estación D, correspondiente a una trama "ARP reply", que llega a la estación S.

El procedimiento mostrado en las Figuras 8 (a) y (h), con respuesta de cada puente atravesado, es opcional -costosos en mensajes-, aunque especialmente adecuado para establecer caminos entre todos los puentes.

Otra posible implementación del establecimiento de caminos es sin utilizar encapsulado y empleando sustitución de direcciones MAC universales por locales en los puentes frontera, según muestran los sucesivos pasos ilustrados en las Figuras 9 (a) a (h). En esta implementación, la estación origen S comienza el envío de la trama t1 utilizando su UMAC, 00:07:e9:24:cb:c8 en el ejemplo de la Figura 9 (a), la cual es sustituida en el puente frontera origen por la HLMAC, 1.18.43.67.110.0 en la Figura 9 (b), que lleva la trama t6 hasta la estación destino D, siguiendo el mismo camino mostrado en las Figuras 9 (c) y (d). Las flechas discontinuas muestran el asentimiento opcional de caminos de los puentes intermedios. La estación destino D usa igualmente su UMAC, 00:09:12:21:a1:b3 en la Figura 9 (e), para la trama de respuesta t7, que tampoco es encapsulada en su puente frontera, como muestra las Figura 9 (f), sino que se envía como una trama de respuesta t8, reemplazando la UMAC por la HLMAC del puerto que conecta la estación D al puente frontera destino. La trama t8 sigue el camino inverso, como muestran las Figuras 9 (g) y (h), hasta la estación S, que recibe la respuesta tal cual, sin encapsulado y con las direcciones HLMAC.

Las Figuras 10 (a) a (i) ilustran otra posible implementación del establecimiento de caminos también sin utilizar encapsulado y empleando las direcciones MAC universales. La estación origen S en la Figura 10 (a) envía una trama t1 con dirección UMAC origen 00:07:e9:24:cb:c8 y dirección UMAC destino la 00:09:12:21:a1:b3 de la estación destino D. El puente frontera 1.18.43.67 no conocía la dirección UMAC 00:07:e9:24:cb:c8 de la estación origen S conectada a él, luego es un puente con conexión FastpathUD sin confirmar. Los puentes con conexión FastpathUD provisional están representados en las Figuras 10 (a)-(i) como círculos simples, mientras que los puentes con conexión FastpathUD confirmada se representan con círculos dobles.

En la Figura 10 (b) el puente 1.18.43.67.110 recibe la trama t1 y aprende la dirección UMAC de la estación origen S en el puerto 110, a la vez que inicia el temporizador de captura de esa dirección UMAC origen y reenvía la trama t1 mediante difusión FastpathUD por todos los enlaces que no suponen giro prohibido. El puente siguiente en el árbol hace lo mismo que el anterior, como indica la Figura 10 (c): se inicia temporizador de captura de la dirección UMAC origen en el puerto del puente por el que se ha recibido y se reenvía a todos los puentes con giro permitido, repitiéndose el proceso en cada puente del camino hasta llegar a la estación destino D. En la Figura 10 (d) la trama t1 de la estación origen S alcanza la destino D.

La estación destino D responde a la trama t1 con un ARP Reply que es una trama unicast t3, con dirección destino la UMAC de la estación S. Como muestra la Figura 10 (e), la trama t3 llega al puente 2.15.9.0.0.0, que aprende la dirección UMAC de la estación D y confirma la captura de la dirección UMAC de S pendiente -conexión Fastpath confirmada-. En la Figura 10 (f), el puente 2.15.9.0.0.0 con la conexión confirmada reenvía la trama t3 por el puerto aprendido o asociado a la dirección UMAC de la estación S hacia el puente 1.18.43.67.0.0, que al recibirla confirma también su captura de la dirección de la estación S, aprende el camino establecido y lo confirma a la estación D. Los mismos procesos se repiten en el siguiente puente 1.18.43.67.110, que ya es el conectado a la estación S, como muestra la Figura 10 (g). La trama t3 recibida en 1.18.43.67 es desetiquetada de la "VLAN F" y reenviada a la estación S, según se muestra en la Figura 10 (h). Por último, los temporizadores de captura de los puentes que no han recibido

la contestación unicast vencen -puentes representados en la Figura 10 (i) como círculos simples y en gris- y, por tanto, las conexiones FastpathUD provisionales hacia la estación S se borran. Los círculos dobles indican aquí conexión confirmada -por unicast de vuelta-.

La Figura 11 muestra la reconfiguración de la red en caso de fallo de un enlace, por ejemplo, un enlace trasversal o cruzado, no perteneciente al árbol de expansión, como es el caso de la Figura 10. La caída del enlace entre los puentes 2.15.9.0.0.0 y 3.35.0.0.0.0 es detectada por ambos, que ponen como inalcanzables las direcciones aprendidas por los puertos conectados al enlace. La trama de datos DATA (D, S) "unicast" con origen la estación S y destino D, al llegar por el puerto anteriormente aprendido al puente 2.15.9.0.0.0, encuentra que el puerto de ese puente conectado al enlace caldo tiene su direcciones aprendida en estado de "dirección inalcanzable". El puente 2.15.9.0.0.0, al recibir la trama destinada a una dirección ahora inalcanzable, devuelve una trama de desaprendizaje NACK(D) indicando el destino D hasta el origen S, que envía una nueva trama ARP para reconfigurar el camino a la estación destino D y conectarla a un puerto alcanzable, por ejemplo el del puente 3.35.0.0.0.

En cualquiera de las implementaciones descritas, el establecimiento de caminos por los puentes frontera presenta la ventaja de agregación de rutas (por un factor del orden de hasta 100, según el número de puertos provistos en los puentes frontera) y un sencillo control de la simetría de caminos.

Las Figuras 12 a 14 ilustran diversas posibilidades de reenvío de tramas unicast con dirección destino desconocida por el puente debido a caducidad de la dirección o a reconfiguración de la red. El nodo pintado con el interior a rayas representa el puente al que llega una trama unicast con dirección unidestino desconocida.

En la Figura 12 se ilustra un caso general, cuando un puente FastpathUD recibe una trama unicast FastpathUD t9 identificada por su VLAN FastpathUD, i.e, con etiqueta "VLAN F", pero el puente no tiene ningún puerto asociado a esa dirección, es decir, no hay una conexión o camino FastpathUD confirmado. La trama pues es reidentificada con la VLAN del árbol de expansión, i.e., con la etiqueta "VLAN T" y reencaminada por el árbol de expansión estándar RSTP, como se representa en la Figura 12 mediante flecha doble. La trama se desetiqueta para entregarla a la estación destino D.

Las tramas sin etiqueta VLAN están representadas en las Figuras 12 a 14 como flechas punteadas.

El encaminamiento por el árbol de expansión puede variar según la trama lleve una dirección HLMAC o UMAC.

Cuando se emplean direcciones HLMAC, como en el ejemplo de las Figuras 13 (a) y 13 (b) que representan el encaminamiento de la trama en sentido de ida y de vuelta respectivamente, decodificando las direcciones HLMAC a través del árbol. La trama t9 puede encaminarse sin necesidad de difusión, ascendiendo primero por el árbol directamente hasta el puente raíz R, vía el puerto raíz en todos los puentes, para luego descender por la rama correspondiente al terminal destino D, como muestra la Figura 13 (a), simplemente eligiendo en cada puente del tramo descendente el puerto indicado por la dirección HLMAC. El puente 2.15.1.0.0, que desconoce la dirección HLMAC 2.15.9.12.0.0, por caducidad de la dirección o por desaprendizaje del puerto asociado a la misma por reconfiguración, encapsula la trama t9 con etiqueta "VLAN T" y reenvía por el árbol de expansión.

Si el terminal destino se encuentra en la misma rama del árbol de expansión que el puente, no es necesario ascender hasta el puente raíz R; basta recorrer la rama en sentido ascendente o descendente decodificando la dirección HLMAC destino salto a salto.

Para el camino de vuelta, mostrado en la Figura 13 (b), el puente frontera 2.15.9.0.0.0 recibe la trama de respuesta t10 de la estación D dirigida a la estación S y etiqueta la trama con "VLAN T" antes de enviarla al puente frontera conectado a la estación S con dirección HLMAC 1.18.43.67.110.0. Como esa dirección destino no tiene prefijo común con su dirección de puente, la trama t10 asciende por el árbol, vía los puertos raíz, hasta el puente raíz R. En el puente raíz R, la dirección HLMAC es decodificada en cada etapa, eligiendo el primer puerto del sufijo no coincidente entre dirección HLMAC de puente y dirección HLMAC destino.

Cuando se emplean direcciones UMAC, se realiza difusión de las tramas de la forma estándar 802.1D por los puertos activos del árbol de expansión. Esta difusión se realiza sin aprendizaje de la dirección MAC origen. La trama de respuesta o de vuelta desde el terminal destino utiliza el árbol de expansión de forma estándar difundiendo la trama de vuelta por todo el árbol hasta alcanzar el terminal destino. Cada puente frontera que recibe una trama unicast por árbol de expansión cancela cualquier asociación a puerto que tenga en ese puente asociado a la dirección origen o destino, borrando así las rutas Fastpath asociadas. El puente frontera de destino hace lo mismo, con lo que sucesivas tramas unicast de ida recorrerán el árbol de expansión hasta que se establece una nueva conexión FastpathUD entre origen y destino.

La Figura 14 ilustra un caso en que el camino de vuelta de la trama t10 se hace sin aprendizaje de la dirección MAC origen. El puente frontera 2.15.9.0.0.0 recibe la trama t10 dirigida a 1.18.43.67.110.0, que tiene asociada la etiqueta "VLAN T" del árbol de expansión y, con esa etiqueta, reenvía la trama t10 por todos los puertos activos en cada puente del árbol, hasta alcanzar el puente raíz R y de ahí es difundida hacia abajo por todo el árbol.

En este texto, la palabra “comprende” y sus variantes (como “comprendiendo”, etc.) no deben interpretarse de forma excluyente, es decir, no excluyen la posibilidad de que lo descrito incluya otros elementos, pasos etc.

Por otra parte, la invención no está limitada a las realizaciones concretas aquí descritas sino que abarca también las variantes que pueden ser realizadas por el experto medio en la materia (por ejemplo, en cuanto a criterios de configuración y tamaño de las redes de telecomunicaciones, tamaño de las estructuras de datos, etc.), sin salir del ámbito de la invención que se desprende de las reivindicaciones incluidas seguidamente.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de encaminamiento de tramas de datos a través de una pluralidad de puentes de red multipuerto conectados mediante enlaces punto a punto que soportan dos sentidos de propagación, formando un árbol de expansión a partir de un puente de red raíz (R) con respecto al que cada puente de red tiene una distancia, que comprende:

- asignar a cada puente de red del árbol de expansión una dirección en correspondencia con la distancia al puente de red raíz (R),

caracterizado porque adicionalmente comprende:

- recibir en un puente de red una trama, que contiene una dirección MAC origen, a través de un puerto del puente que tiene una identidad de puerto asignada,

- asociar en el puente la identidad del puerto que primero recibe la trama con la dirección MAC origen de la trama, con un indicador de caducidad de la dirección MAC origen y con un tiempo de guarda durante el que se mantiene inmodificable la asociación dirección MAC origen-identidad del puerto,

- descartar por el puente de red todas las tramas con la misma dirección MAC origen recibidas a través de un puerto del puente con una identidad de puerto distinta a la de la asociación dirección MAC origen-identidad del puerto.

2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado** porque, si la trama recibida contiene una dirección MAC de destino de difusión, adicionalmente comprende enviar la trama a través de todos los puertos del puente que tienen una identidad de puerto distinta a la de la asociación identidad del puerto-dirección MAC origen de la trama.

3. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque, si la trama recibida contiene una dirección MAC unidestino diferente a la dirección MAC origen de la asociación dirección MAC origen-identidad del puerto de todos y cada uno de los puertos del puente que recibe la trama, adicionalmente comprende modificar la trama recibida sustituyendo la dirección MAC unidestino por la dirección MAC origen de la trama recibida y enviar la trama modificada a través del puerto del puente por el que se ha recibido.

4. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque, si la trama recibida contiene una dirección MAC unidestino igual a la dirección MAC origen de la asociación dirección MAC origen-identidad del puerto y el indicador de caducidad indica que la dirección está caducada, adicionalmente comprende modificar la trama recibida sustituyendo la dirección MAC unidestino por la dirección MAC origen de la trama recibida y enviar la trama modificada a través del puerto del puente por el que se ha recibido.

5. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 3 y 4, **caracterizado** porque adicionalmente comprende:

- recibir la trama modificada en un puente frontera conectado a un equipo terminal que tiene la dirección de destino contenida en la trama modificada,

- enviar desde el puente frontera una trama con dirección MAC de destino de difusión y dirección MAC origen igual a la dirección del puente frontera,

- recibir la trama con dirección MAC de destino de difusión en un puente de red a través de un puerto y modificar la trama sustituyendo la dirección MAC origen por la dirección del puente de red y la dirección MAC de destino de difusión por la dirección del puente frontera,

- enviar desde el puente la trama con dirección MAC origen igualada a la dirección del puente a través del puerto cuya identidad de puerto es la de la asociación dirección MAC origen-identidad del puerto en el puente.

6. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque adicionalmente comprende enviar periódicamente unas tramas trazadoras entre dos puentes frontera, un puente frontera origen que envía y un puente frontera destino que recibe, a través de un enlace en los dos sentidos de propagación, las tramas trazadoras conteniendo una dirección origen igual a la dirección del puente frontera que envía.

7. Procedimiento según la reivindicación 6, **caracterizado** porque las tramas trazadoras contienen una dirección destino que es igual a la dirección del puente frontera que recibe.

8. Procedimiento según la reivindicación 6, **caracterizado** porque las tramas trazadoras contienen una dirección destino que es de difusión.

9. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque la dirección MAC origen de la trama recibida en un puente se selecciona entre una dirección MAC universal, dirección MAC local y dirección MAC local y jerárquica.

10. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque la dirección asignada a cada puente de red del árbol de expansión es una dirección MAC local.

11. Procedimiento según la reivindicación 10, **caracterizado** porque la dirección asignada a cada puente de red del árbol de expansión es una dirección MAC local y jerárquica.

12. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, **caracterizado** porque la dirección asignada a cada puente frontera conectado a un equipo terminal está formada por una dirección MAC universal y un identificador en correspondencia a la distancia del puente frontera al puente de red raíz (R).

13. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque, cuando se recibe la trama en un puente frontera conectado a un equipo terminal, adicionalmente comprende encapsular la trama con una cabecera que contiene una dirección origen y una dirección destino que son direcciones MAC locales y jerárquicas.

14. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque, cuando se recibe la trama en un puente frontera conectado a un equipo terminal a través de un puerto designado con una dirección MAC local y jerárquica y la trama contiene una dirección origen que es una dirección MAC universal, el puente frontera sustituye en la dirección origen la dirección MAC universal por la dirección MAC local y jerárquica del puerto designado.

15. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque usa el protocolo de resolución de direcciones ARP.

16. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque usa prohibición de giros aplicables a encaminamiento arriba/abajo.

17. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque, si la trama recibida contiene una dirección MAC origen que es una dirección MAC universal y una dirección MAC unidestino que tiene asociado en el puente que la recibe un indicador de caducidad indicando que la dirección está caducada, adicionalmente comprende:

- borrar del puente la asociación con la dirección MAC unidestino,

- modificar la trama recibida sustituyendo la dirección MAC unidestino por una dirección MAC de multidifusión,

- enviar la trama modificada a la dirección MAC origen.

18. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque, si la trama recibida contiene una dirección MAC origen que es una dirección MAC local y jerárquica y una dirección MAC unidestino que tiene asociado en el puente que la recibe un indicador de caducidad indicando que la dirección está caducada, adicionalmente comprende:

- borrar del puente la asociación con la dirección MAC unidestino,

- modificar la trama recibida sustituyendo la dirección MAC unidestino por la dirección MAC local y jerárquica contenida en la dirección MAC origen de la trama recibida, y sustituyendo la dirección MAC origen de la trama por una dirección MAC local y jerárquica asignada al puente que la recibe;

- enviar la trama modificada a la dirección MAC local y jerárquica contenida en la dirección MAC origen de la trama recibida.

19. Procedimiento según la reivindicación 18, **caracterizado** porque la dirección MAC local y jerárquica contenida en la dirección MAC origen de la trama recibida corresponde a un equipo terminal.

20. Procedimiento según la reivindicación 18, **caracterizado** porque la dirección MAC local y jerárquica contenida en la dirección MAC origen de la trama recibida corresponde a un puente frontera conectado a un equipo terminal.

21. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque, si la trama recibida contiene una dirección MAC origen que es una dirección MAC universal y una dirección MAC unidestino que corresponde a un puente que está caído o está conectado al puente receptor de la trama mediante un enlace en el que se ha detectado una caída, adicionalmente comprende:

- borrar del puente receptor de la asociación con la dirección MAC unidestino,

- modificar la trama recibida sustituyendo la dirección MAC unidestino por una dirección MAC multidifusión,

- enviar la trama modificada a la dirección MAC origen.

22. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque, si la trama recibida contiene una dirección MAC origen que es una dirección MAC local y jerárquica y una dirección MAC unidestino que corresponde a un puente que está caído o está conectado al puente receptor de la trama mediante un enlace en el que se ha detectado una calda, adicionalmente comprende:

- borrar del puente receptor de la trama la asociación con la dirección MAC unidestino,

- modificar la trama recibida sustituyendo la dirección MAC unidestino por la dirección MAC local y jerárquica contenida en la dirección MAC origen de la trama recibida, y sustituyendo la dirección MAC origen de la trama por una dirección MAC local y jerárquica asignada al puente receptor de la trama;

- enviar la trama modificada a la dirección MAC local y jerárquica contenida en la dirección MAC origen de la trama recibida.

23. Procedimiento según la reivindicación 22, **caracterizado** porque la dirección MAC local y jerárquica contenida en la dirección MAC origen de la trama recibida corresponde a un equipo terminal.

24. Procedimiento según la reivindicación 22, **caracterizado** porque la dirección MAC local y jerárquica contenida en la dirección MAC origen de la trama recibida corresponde a un puente frontera conectado a un equipo terminal.

25. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque adicionalmente comprende etiquetar en el puente la trama recibida con una etiqueta VLAN que se selecciona entre etiqueta de la VLAN del árbol de expansión y etiqueta VLAN de la red de puentes que operan según la reivindicación 1.

26. Puente de red multipuerto **caracterizado** porque comprende medios de procesamiento configurados para encaminar tramas en el nivel de enlace de datos y en el plano de usuario de acuerdo con el procedimiento de encaminamiento de tramas de datos definido según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 25.

27. Red de telecomunicaciones conmutada **caracterizada** porque comprende al menos un puente de red definido según la reivindicación 26 conectado a un puente de red raíz (R) en un árbol de expansión.

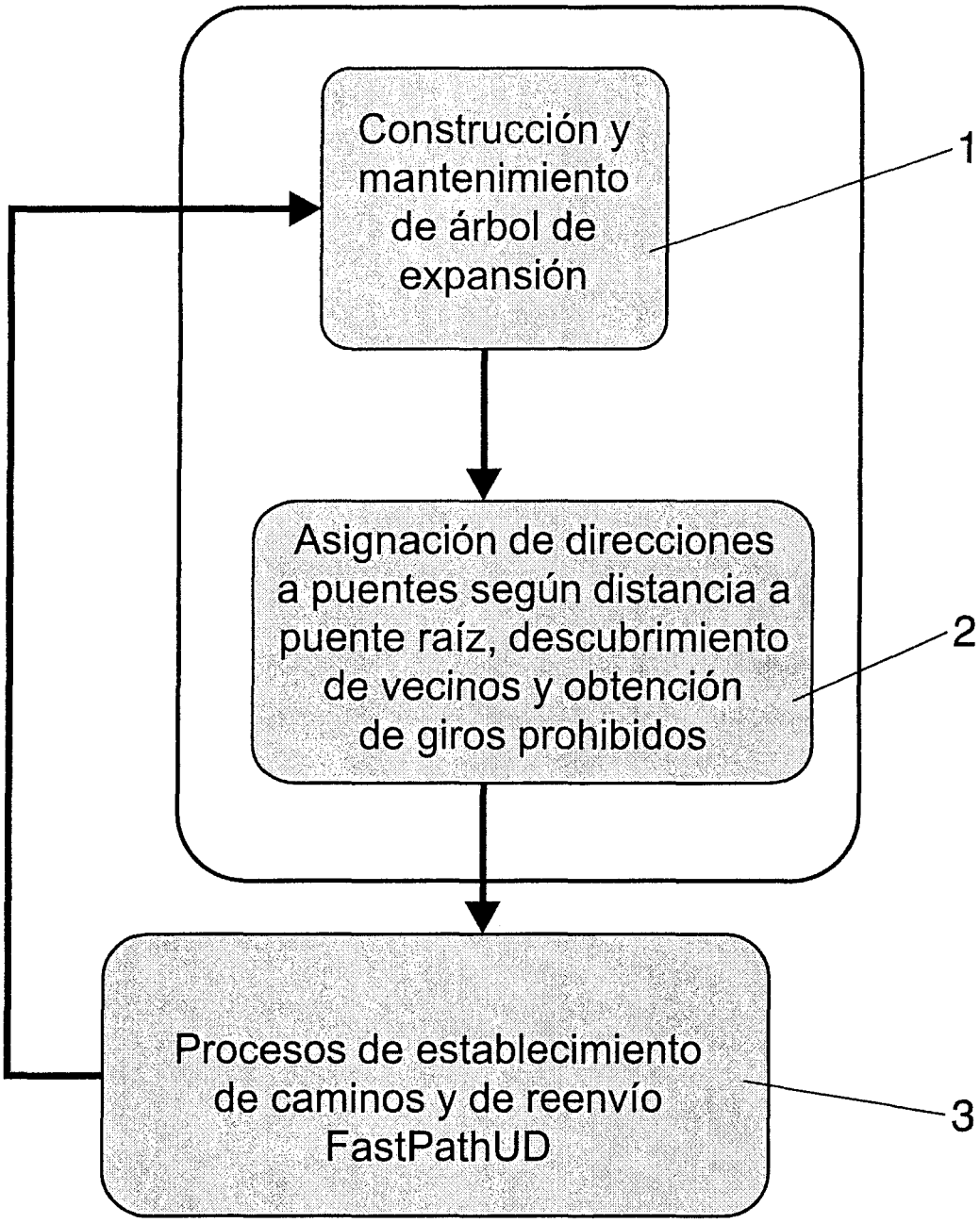
Construcción y mantenimiento de árbol de expansión
1
Asignación de direcciones a puentes según distancia a puente raíz, descubrimiento de vecinos y obtención de giros prohibidos
2
Procesos de establecimiento de caminos y de reenvío FastPathUD
3

FIG. 1

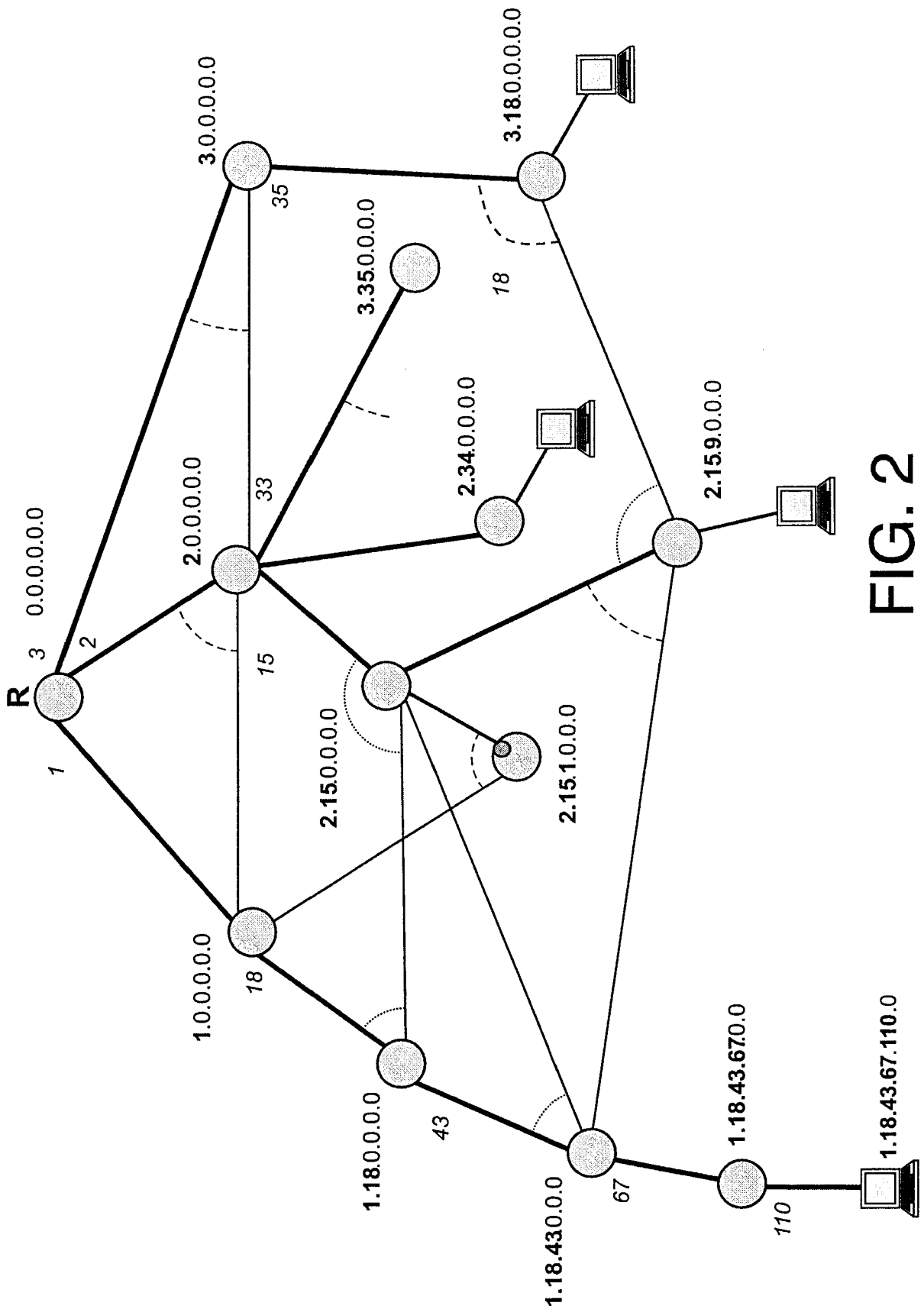
R
3
0.0.0.0.0.0
1
2
3.0.0.0.0.0
35
3.18.0.0.0.0
18
3.35.0.0.0
2.0.0.0.0.0
33
2.34.0.0.0
2.15.9.0.0.0
15
2.15.0.0.0.0
2.15.1.0.0.0
1.0.0.0.0.0
18
1.18.0.0.0.0
43
1.18.43.0.0.0
67
1.18.43.67.0.0
110
1.18.43.67.110.0

FIG. 2

Protocolo ID (2 bytes)
Version (1 byte)
Message Type (1 byte)
Flags (1 byte)
Root ID (8 bytes)
Path Cost (4 bytes)
Bridge ID (8 bytes)
Part ID (2 bytes)
Message Age (2 bytes)
Hello Time (2 bytes)
Forwarding Delay (2 bytes)
Version 1 Length(1 byte)

FIG. 3
(ESTADO DE LA TÉCNICA)

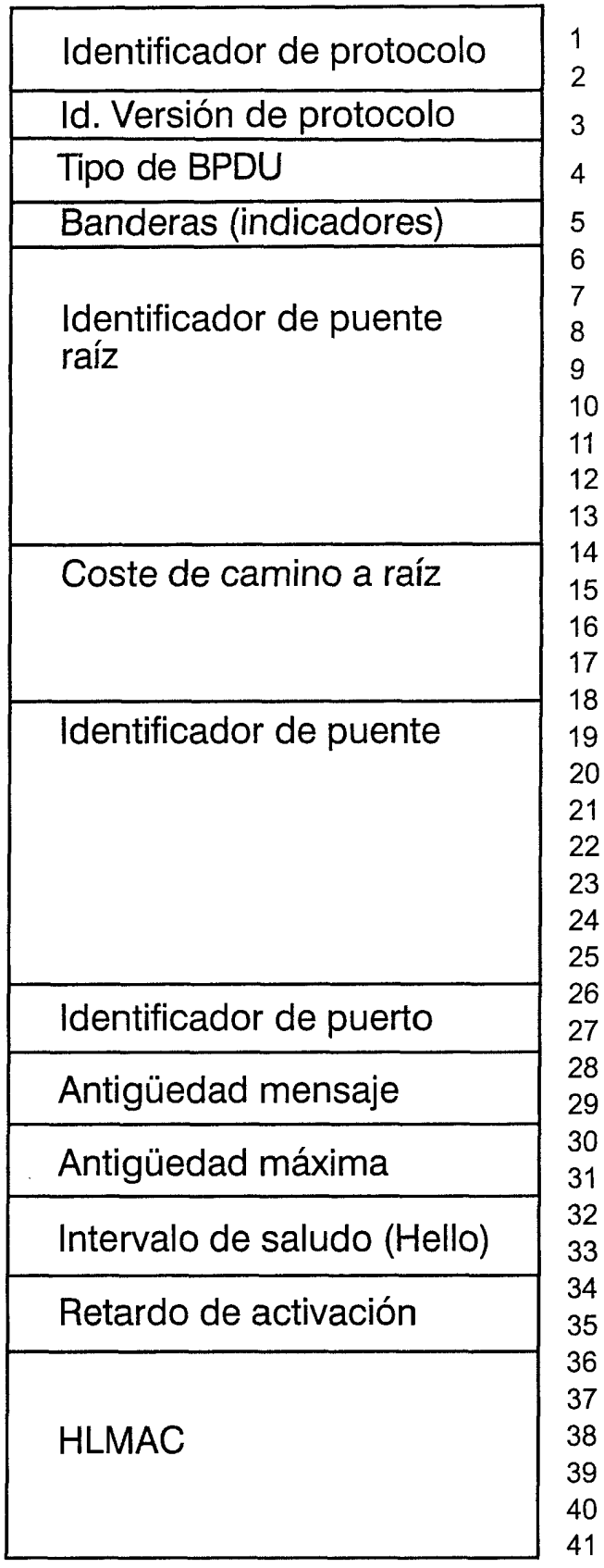
Identificador de protocolo
Id. Versión de protocolo
Tipo de BPDU
Banderas (indicadores)
Identificador de puente raíz
Coste de camino a raíz
Identificador de puente
Identificador de puerto
Antigüedad mensaje
Antigüedad máxima
Intervalo de saludo (Hello)
Retardo de activación
HLMAC
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41

FIG. 4

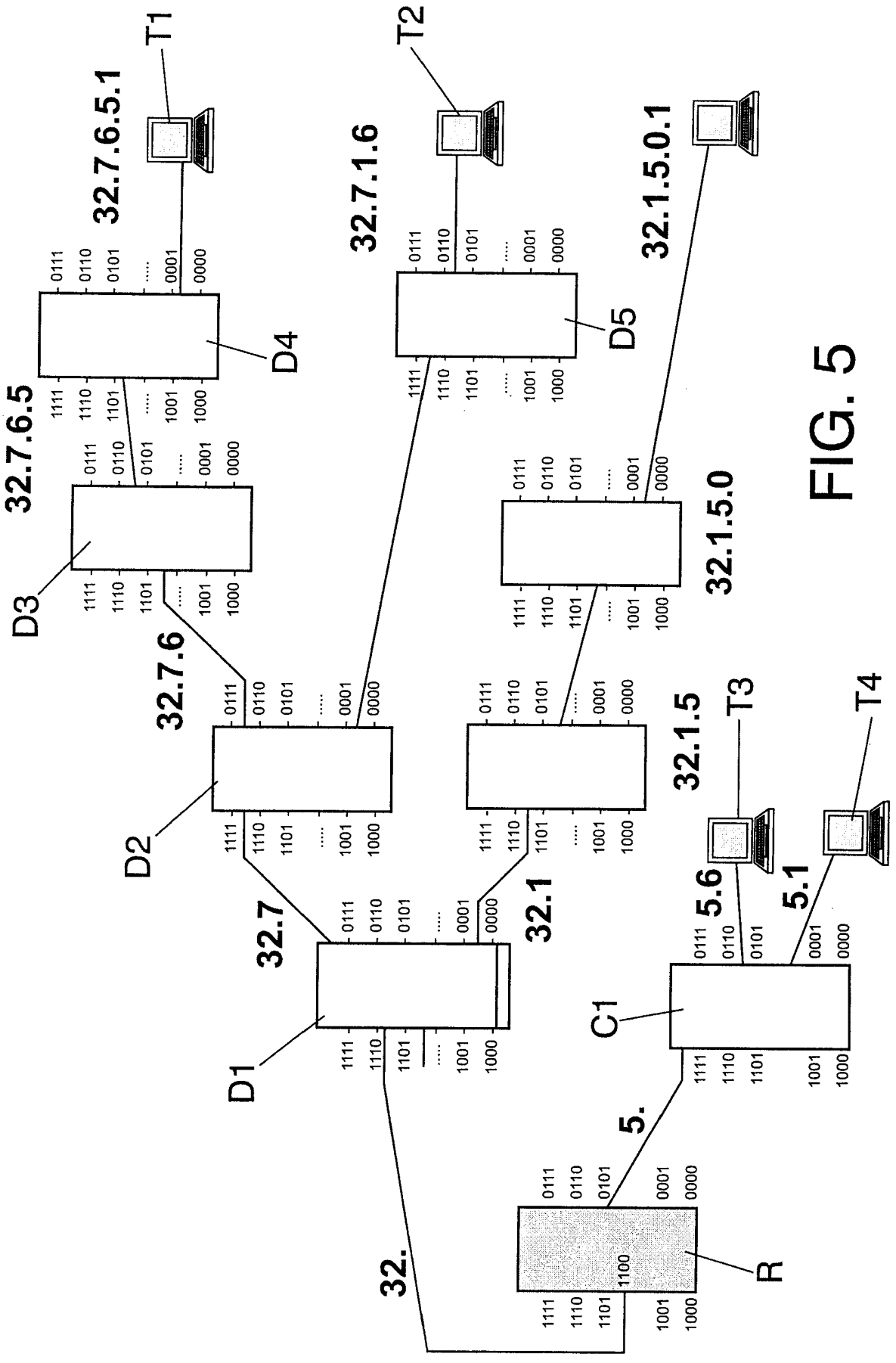
T1
T2
T3
T4
32.7.6.5.1
32.7.1.6
32.1.5.0.1
32.1.5.0
32.1.5
32.7.6.5
32.7.6
32.7
32.1
5.6
5.1
5.
32.
D1
D2
D3
D4
D5
C1
R
0111
0110
0101
.....
0001
0000
1111
1110
1101
1001
1000
1100

FIG. 5

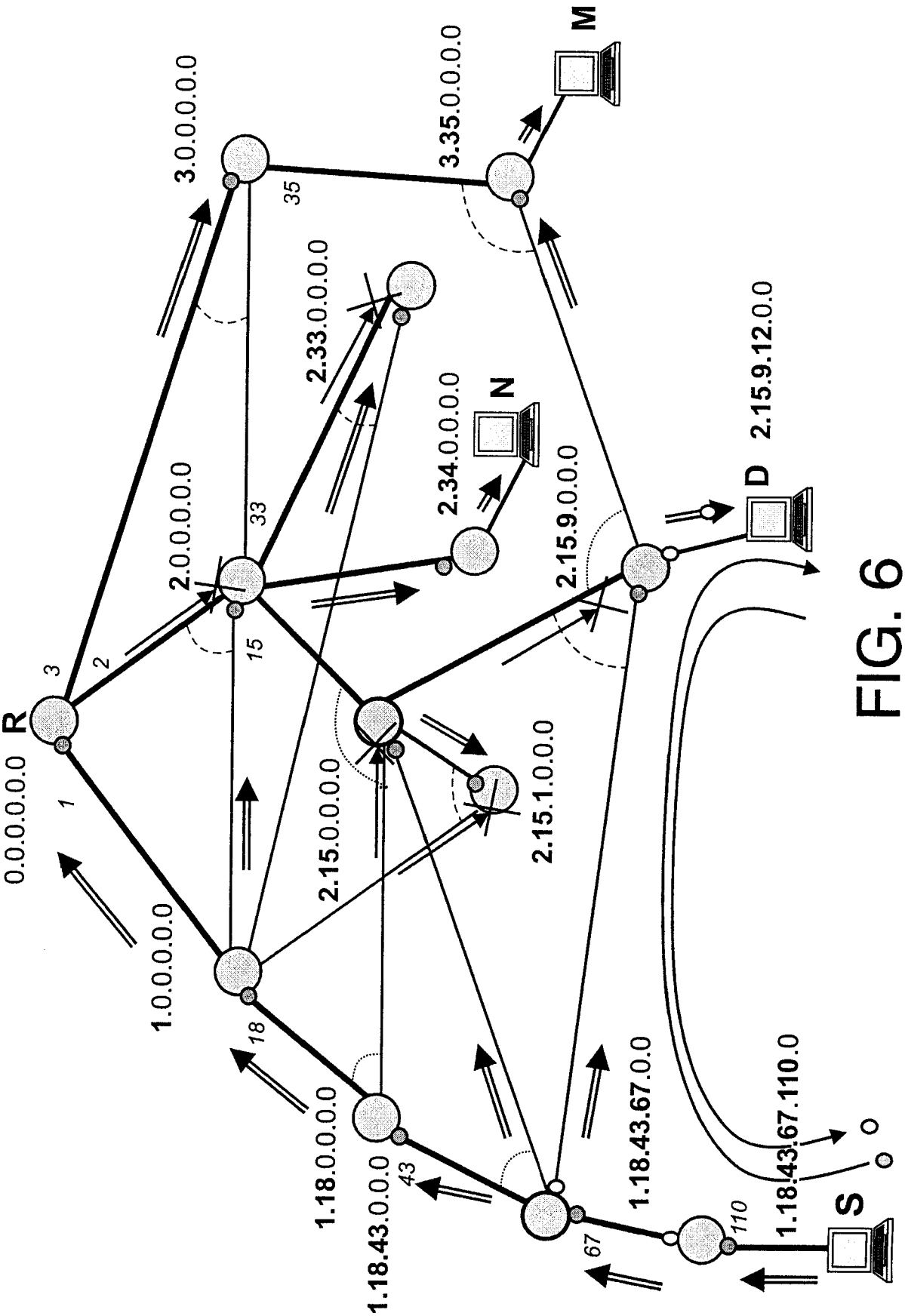
R
0.0.0.0.0.0
M
3.0.0.0.0.0
3.35.0.0.0.0
2.33.0.0.0.0
N
2.34.0.0.0.0
2.0.0.0.0.0
2.15.9.0.0.0
D
2.15.9.12.0.0
2.15.0.0.0.0
2.15.1.0.0.0
1.0.0.0.0.0
1.18.0.0.0.0
1.18.43.0.0.0
1.18.43.67.0.0
1.18.43.67.110.0
S
1
2
3
15
18
33
35
43
67
110

FIG. 6

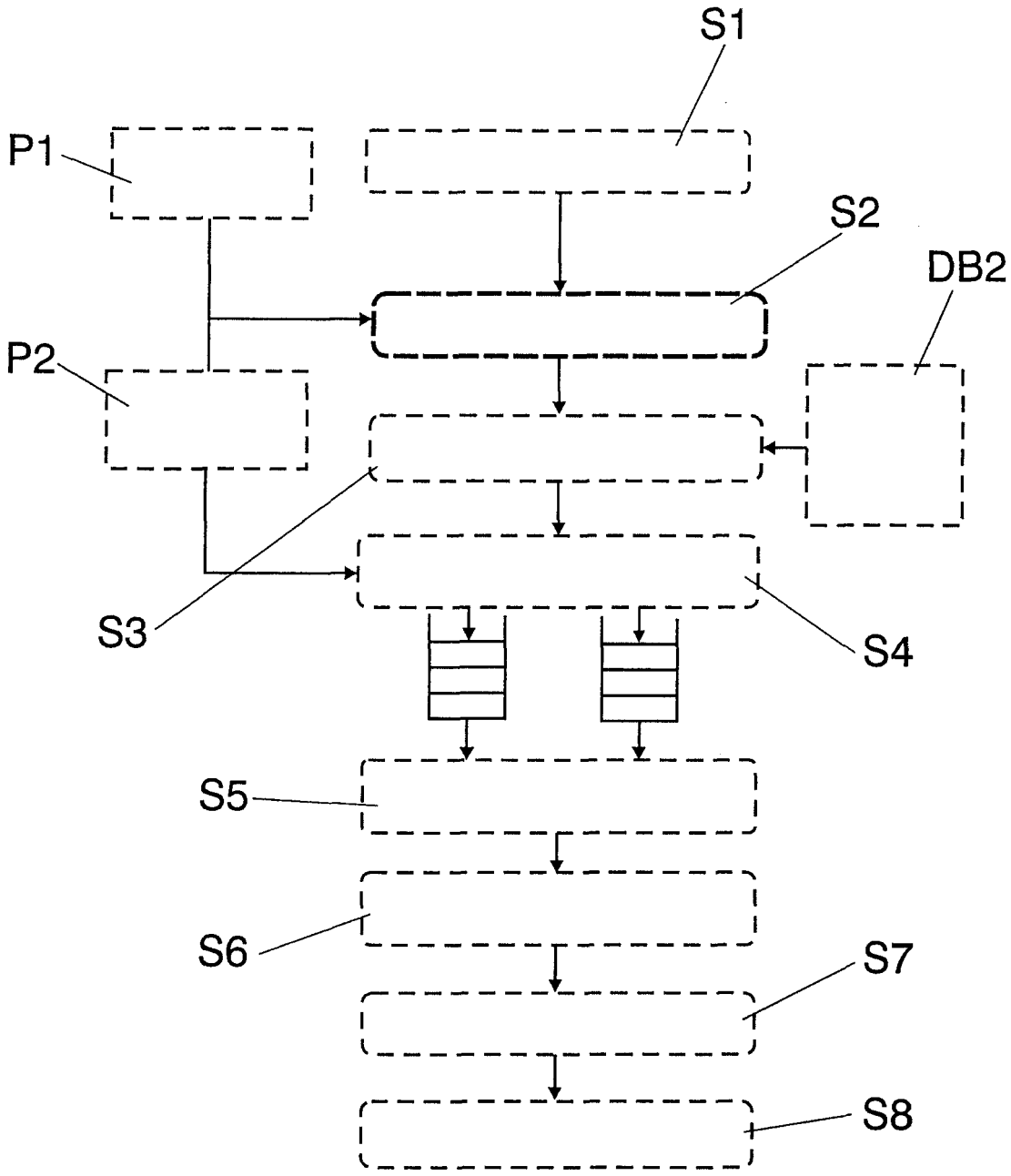

FIG. 7

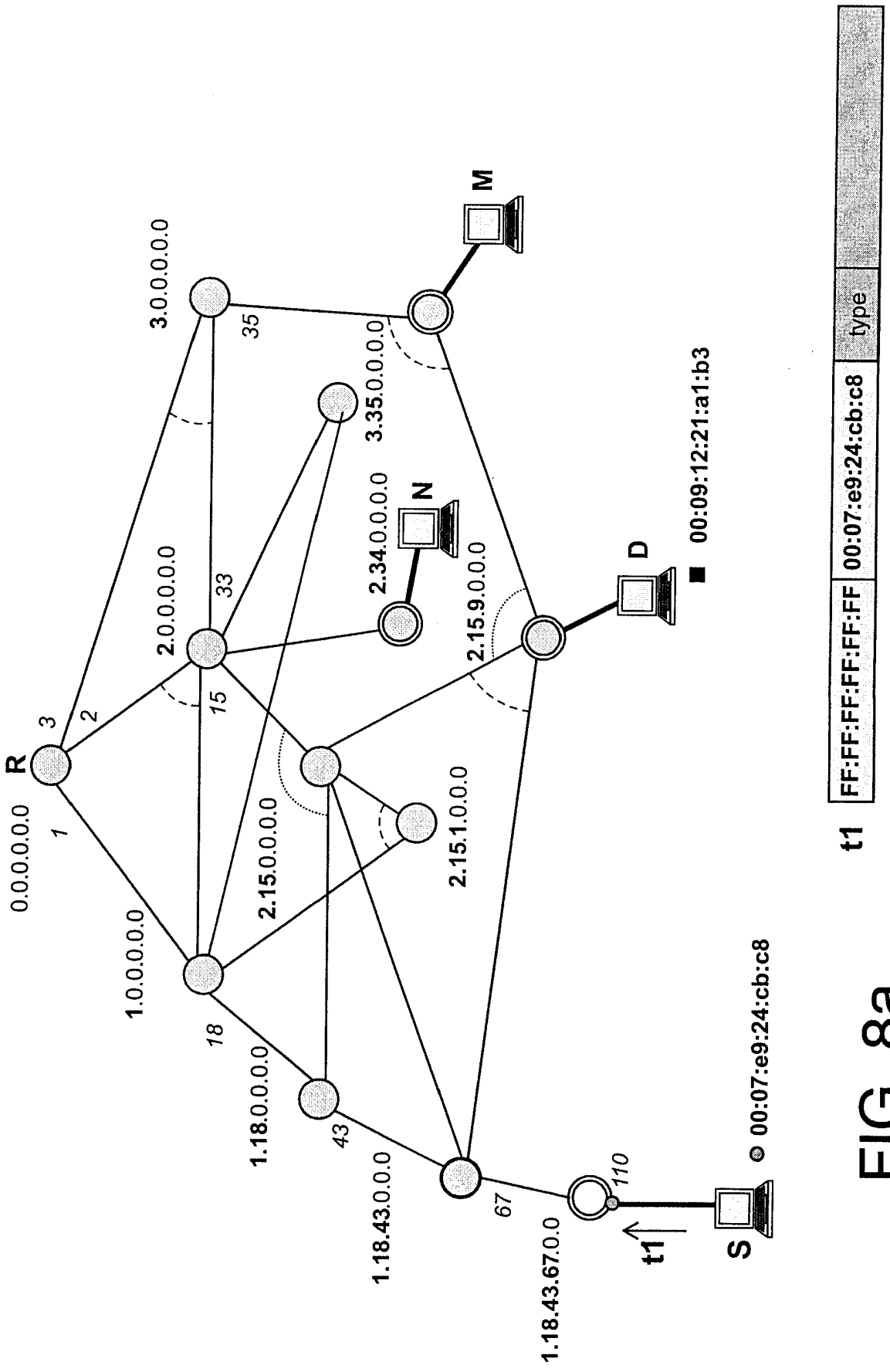
R
0.0.0.0.0
1
3
2
1.0.0.0.0
18
1.18.0.0.0
43
1.18.43.0.0
67
1.18.43.67.0.0
110
t1
S
00:07:e9:24:cb:c8
2.15.0.0.0.0
2.15.1.0.0.0
2.0.0.0.0
33
15
3.0.0.0.0.0
35
3.35.0.0.0
M
2.34.0.0.0
N
2.15.9.0.0.0
D
00:09:12:21:a1:b3
t1
FF:FF:FF:FF:FF:FF
00:07:e9:24:cb:c8
type

FIG. 8a

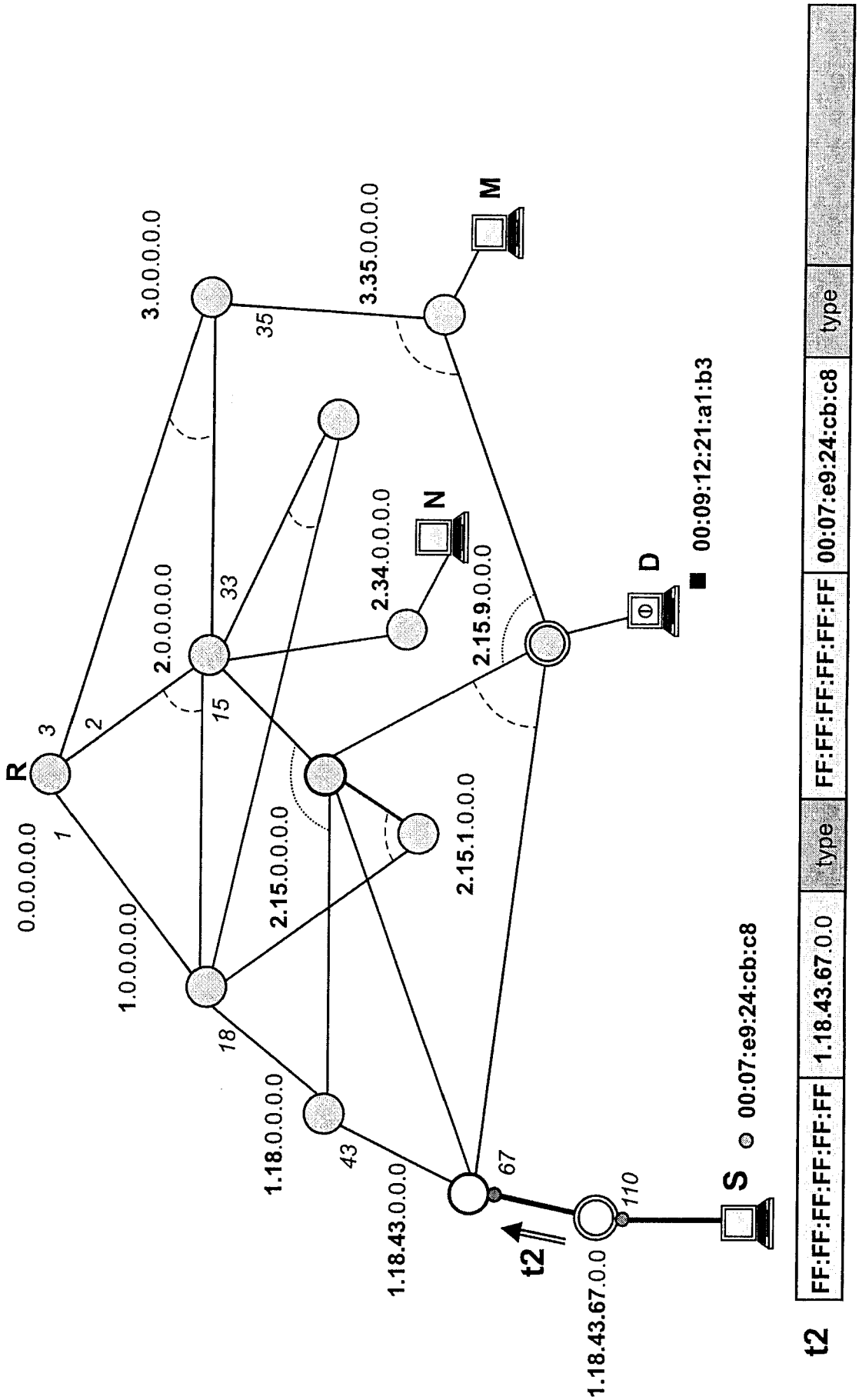
R
0.0.0.0.0
1
3
2
1.0.0.0.0
2.0.0.0.0
3.0.0.0.0
35
3.35.0.0.0
M
33
15
2.34.0.0.0
N
2.15.0.0.0
2.15.9.0.0
D
00:09:12:21:a1:b3
2.15.1.0.0.0
18
1.18.0.0.0
43
1.18.43.0.0.0
67
110
S
00:07:e9:24:cb:c8
t2
1.18.43.67.0.0
t2
FF:FF:FF:FF:FF:FF
1.18.43.67.0.0
type
FF:FF:FF:FF:FF:FF
00:07:e9:24:cb:c8
type

FIG. 8b

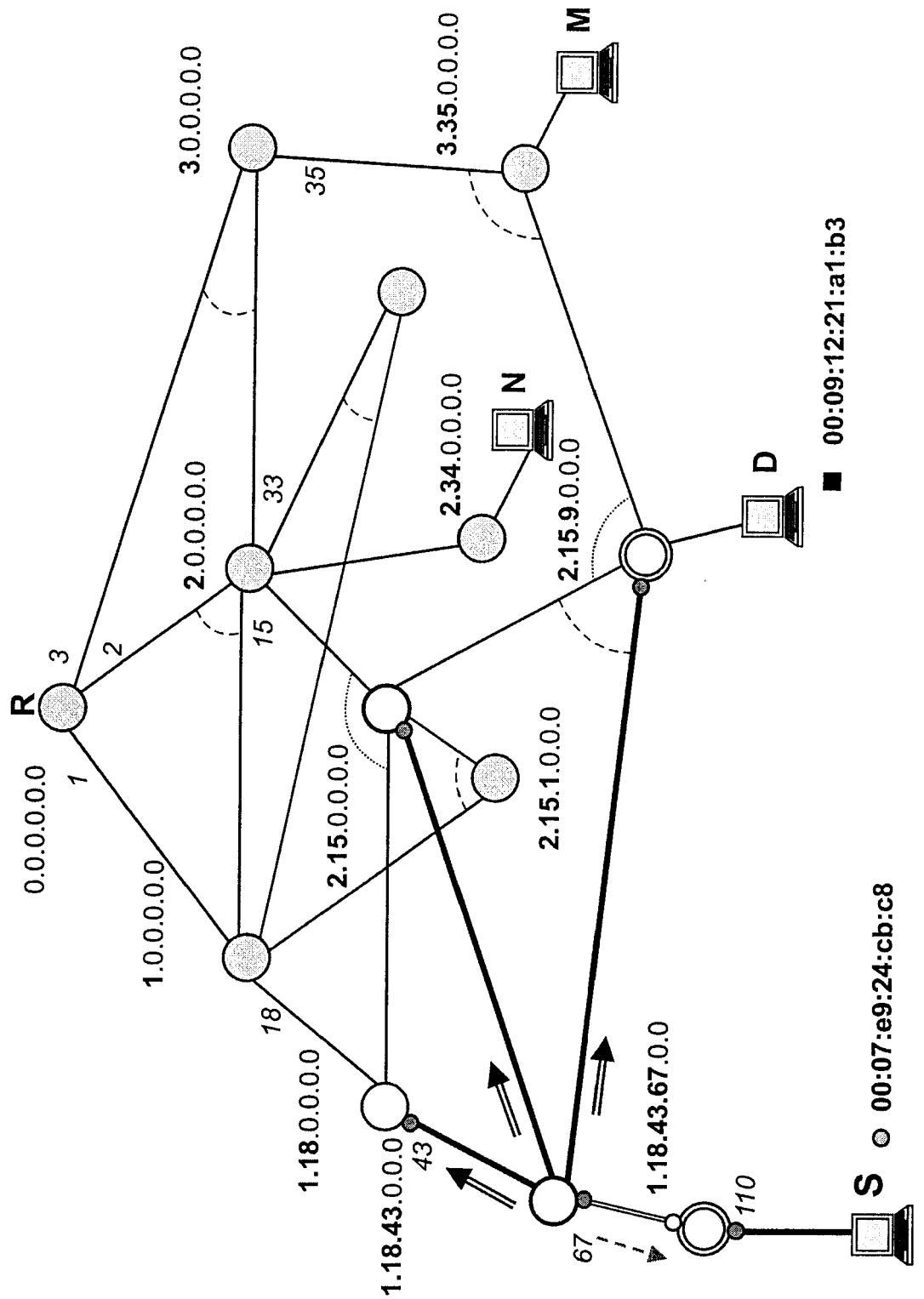
R
0.0.0.0.0.0
1
3
2
1.0.0.0.0.0
3.0.0.0.0.0
35
3.35.0.0.0.0
M
2.0.0.0.0.0
33
15
2.34.0.0.0.0
N
2.15.9.0.0.0
D
00:09:12:21:a1:b3
2.15.0.0.0.0
2.15.1.0.0.0
18
1.18.0.0.0.0
1.18.43.0.0.0
43
1.18.43.67.0.0
67
110
S
00:07:e9:24:cb:c8

FIG. 8c

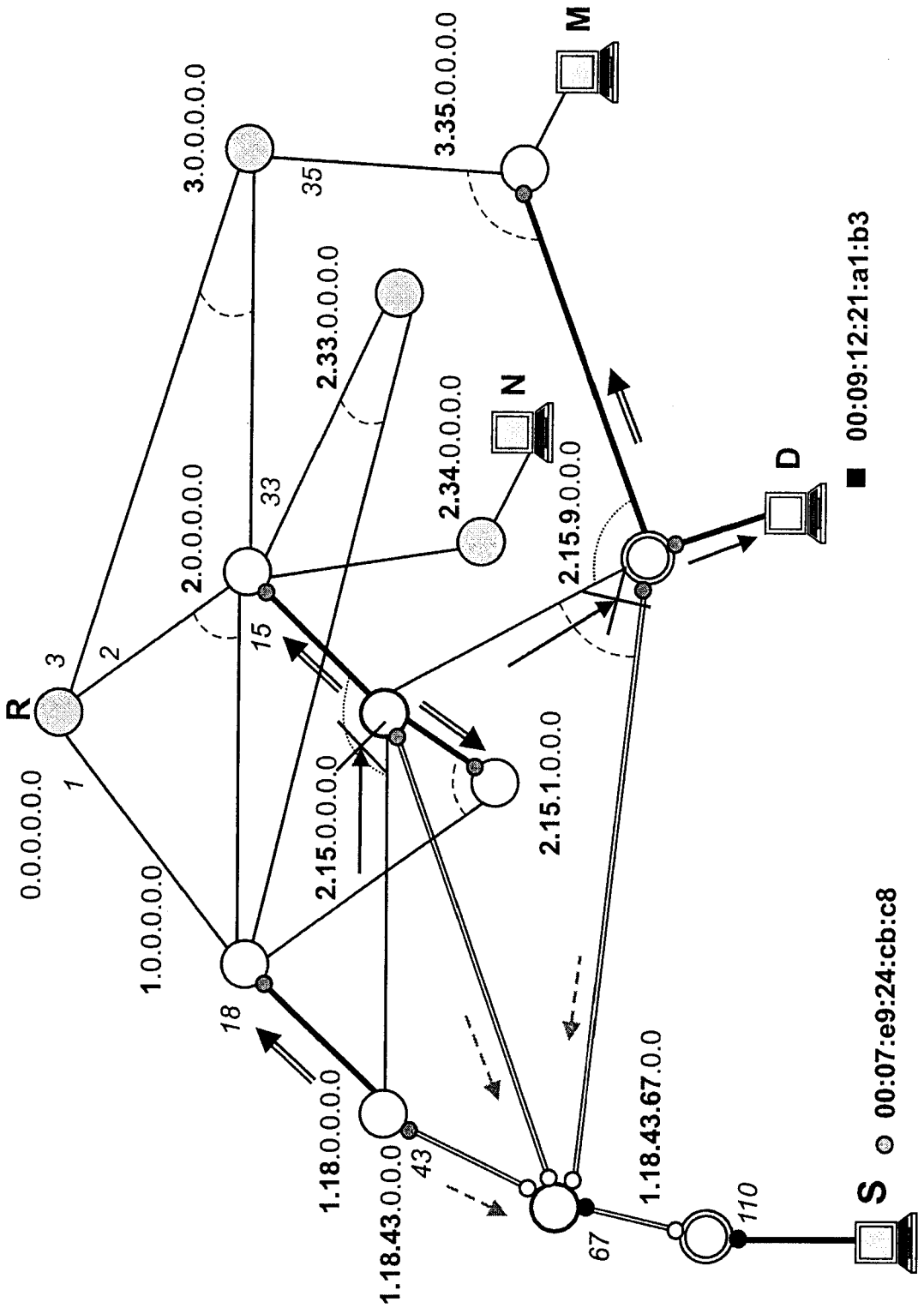
R
0.0.0.0.0.0
1
3
2
1.0.0.0.0.0
2.0.0.0.0.0
3.0.0.0.0.0
15
33
35
18
2.15.0.0.0.0
2.15.1.0.0.0
2.33.0.0.0.0
2.34.0.0.0.0
2.15.9.0.0.0
3.35.0.0.0.0
1.18.0.0.0.0
1.18.43.0.0.0
43
67
1.18.43.67.0.0
110
N
M
D
S
00:09:12:21:a1:b3
00:07:e9:24:cb:c8

FIG. 8d

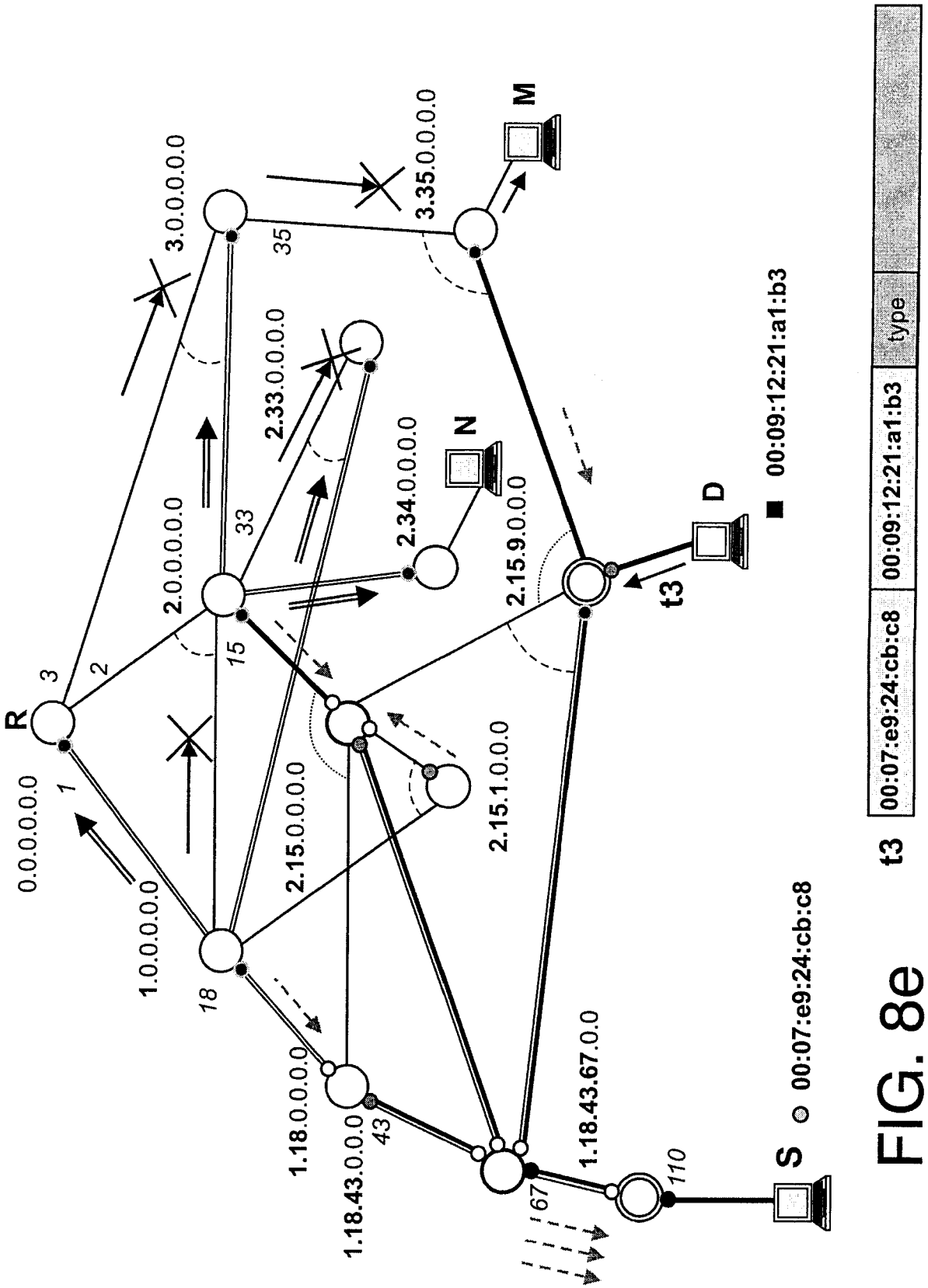
R
M
N
D
S
0.0.0.0.0.0
1.0.0.0.0.0
2.0.0.0.0.0
3.0.0.0.0.0
2.33.0.0.0.0
2.34.0.0.0.0
3.35.0.0.0.0
2.15.9.0.0.0
2.15.0.0.0.0
2.15.1.0.0.0
1.18.0.0.0.0
1.18.43.0.0.0
1.18.43.67.0.0
1
2
3
15
18
33
35
43
67
110
t3
00:09:12:21:a1:b3
00:07:e9:24:cb:c8
t3
00:07:e9:24:cb:c8
00:09:12:21:a1:b3
type

FIG. 8e

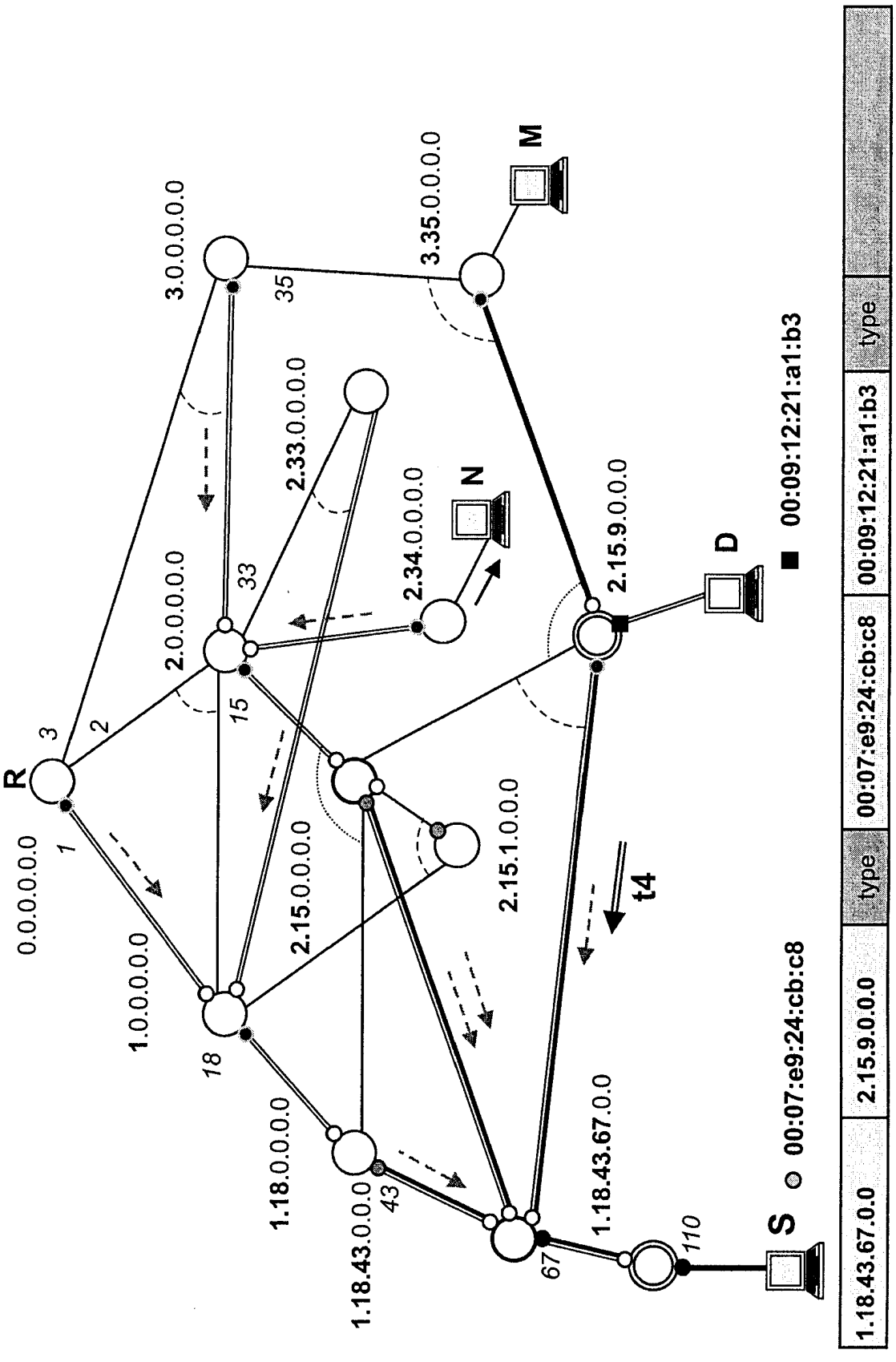
R
M
N
D
S
0.0.0.0.0.0
1.0.0.0.0.0
2.0.0.0.0.0
3.0.0.0.0.0
2.15.0.0.0.0
2.15.1.0.0.0
2.15.9.0.0.0
2.33.0.0.0.0
2.34.0.0.0.0
3.35.0.0.0.0
1.18.0.0.0.0
1.18.43.0.0.0
1.18.43.67.0.0
00:07:e9:24:cb:c8
00:09:12:21:a1:b3
t4
1.18.43.67.0.0
2.15.9.0.0.0
type
00:07:e9:24:cb:c8
00:09:12:21:a1:b3
type

FIG. 8f

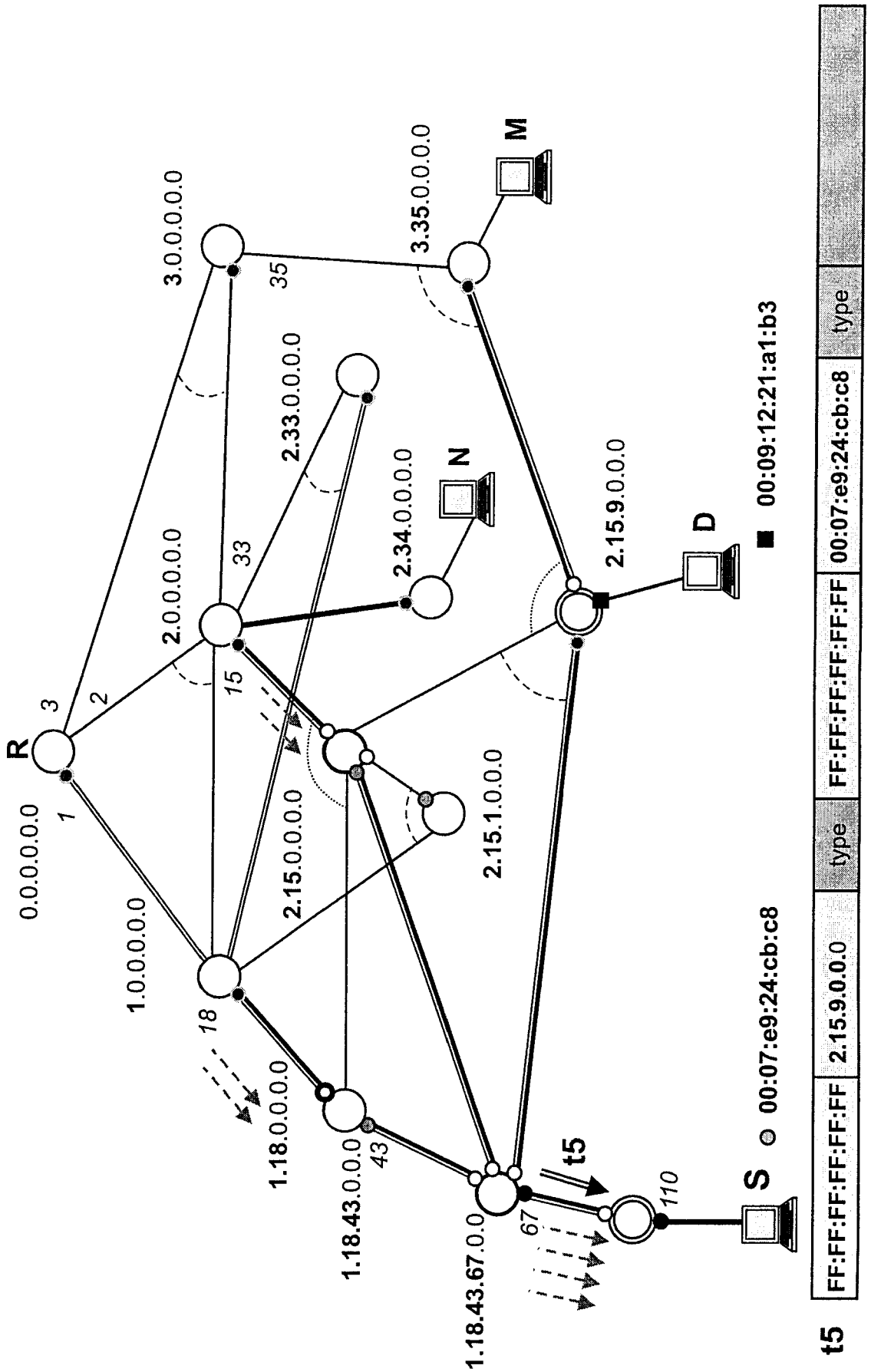
R
0.0.0.0.0
1
3
2
3.0.0.0.0.0
35
3.35.0.0.0.0
M
2.33.0.0.0.0
2.34.0.0.0.0
N
2.0.0.0.0.0
33
15
2.15.9.0.0.0
D
00:09:12:21:a1:b3
2.15.0.0.0.0
2.15.1.0.0.0
1.0.0.0.0.0
18
1.18.0.0.0.0
1.18.43.0.0.0
43
1.18.43.67.0.0
67
t5
110
S
00:07:e9:24:cb:c8
t5
FF:FF:FF:FF:FF:FF
2.15.9.0.0.0
type
FF:FF:FF:FF:FF:FF
00:07:e9:24:cb:c8
type

FIG. 8g

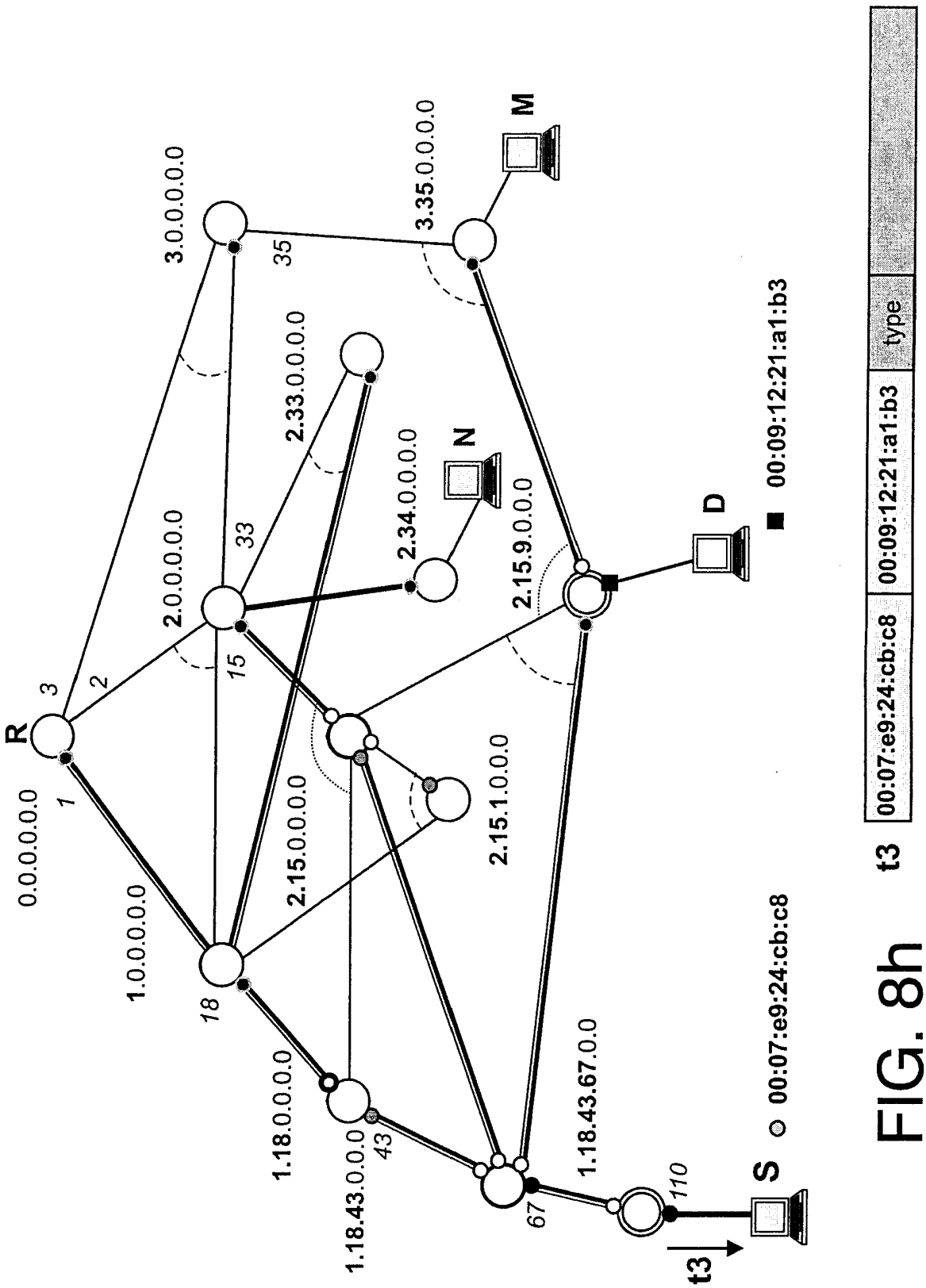
R
S
M
N
D
0.0.0.0.0.0
1.0.0.0.0.0
2.0.0.0.0.0
3.0.0.0.0.0
2.33.0.0.0.0
2.34.0.0.0.0
3.35.0.0.0.0
2.15.9.0.0.0
2.15.0.0.0.0
2.15.1.0.0.0
1.18.0.0.0.0
1.18.43.0.0.0
1.18.43.67.0.0
1
2
3
15
18
33
35
43
67
110
t3
00:07:e9:24:cb:c8
00:09:12:21:a1:b3
t3
00:07:e9:24:cb:c8
00:09:12:21:a1:b3
type

FIG. 8h

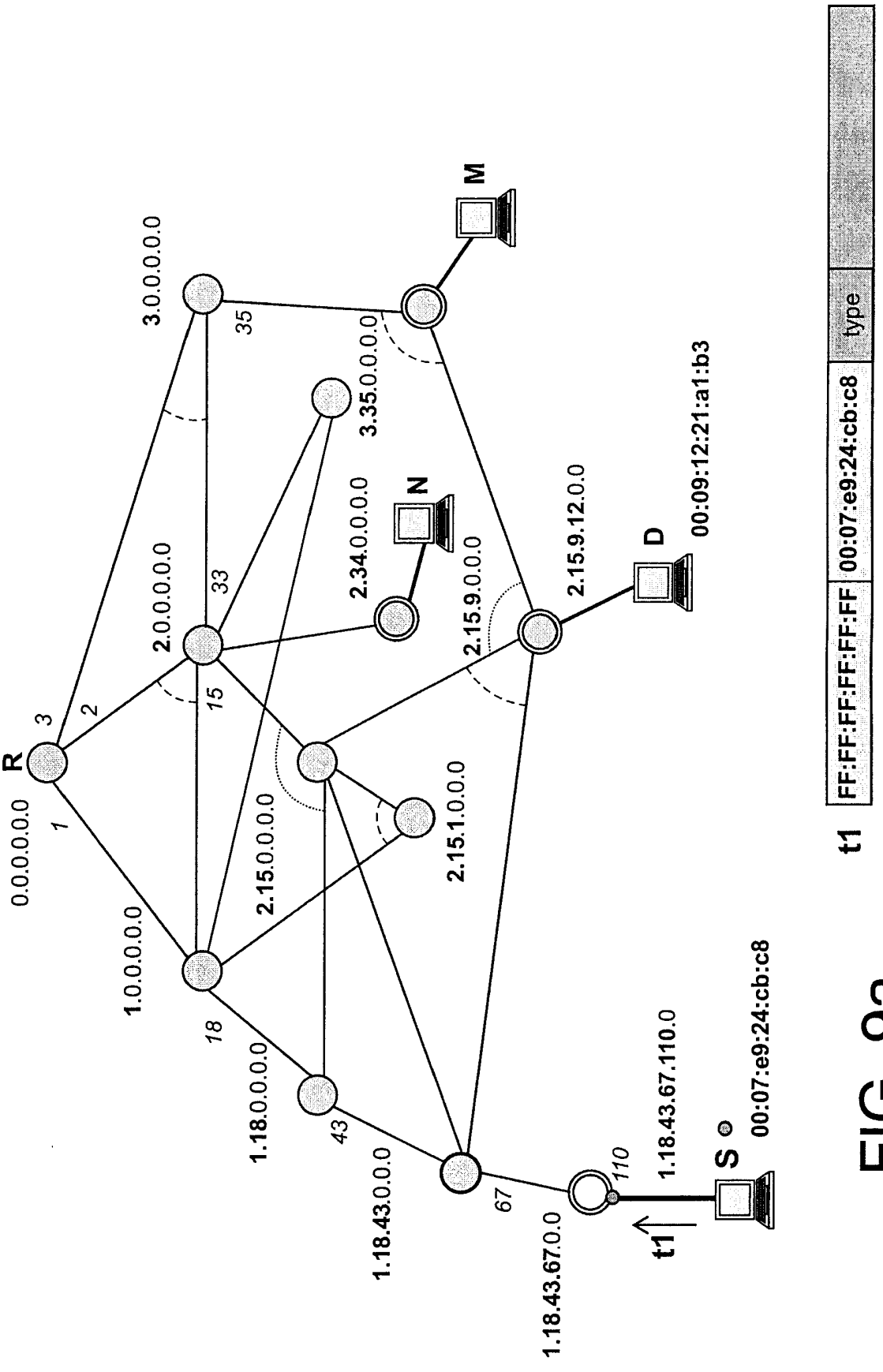
R
0.0.0.0.0
1
3
2
1.0.0.0.0
18
1.18.0.0.0
43
1.18.43.0.0
67
1.18.43.67.0.0
110
1.18.43.67.110.0
S
00:07:e9:24:cb:c8
t1
2.15.0.0.0.0
2.15.1.0.0.0
2.0.0.0.0.0
15
33
3.0.0.0.0.0
35
3.35.0.0.0.0
2.34.0.0.0.0
N
2.15.9.0.0.0
2.15.9.12.0.0
D
00:09:12:21:a1:b3
M
t1
FF:FF:FF:FF:FF:FF
00:07:e9:24:cb:c8
type

FIG. 9a

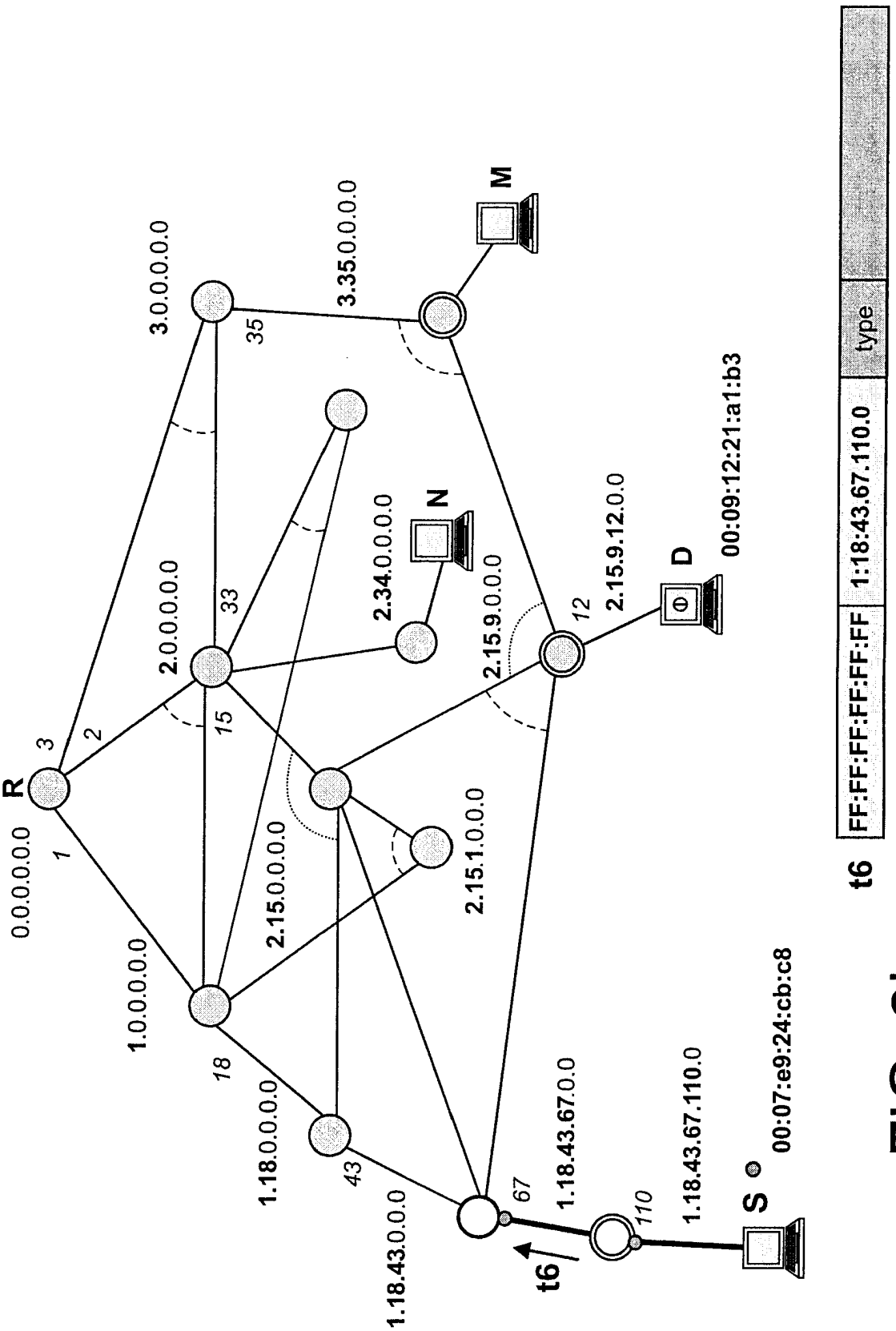
R
0.0.0.0.0
1
3
2
1.0.0.0.0
18
1.18.0.0.0.0
43
1.18.43.0.0.0
2.15.0.0.0.0
2.15.1.0.0.0
2.0.0.0.0.0
15
33
3.0.0.0.0.0
35
3.35.0.0.0.0
M
2.34.0.0.0.0
N
2.15.9.0.0.0
12
2.15.9.12.0.0
D
00:09:12:21:a1:b3
67
1.18.43.67.0.0
110
1.18.43.67.110.0
S
00:07:e9:24:cb:c8
t6
t6
FF:FF:FF:FF:FF:FF
1:18:43.67.110.0
type

FIG. 9b

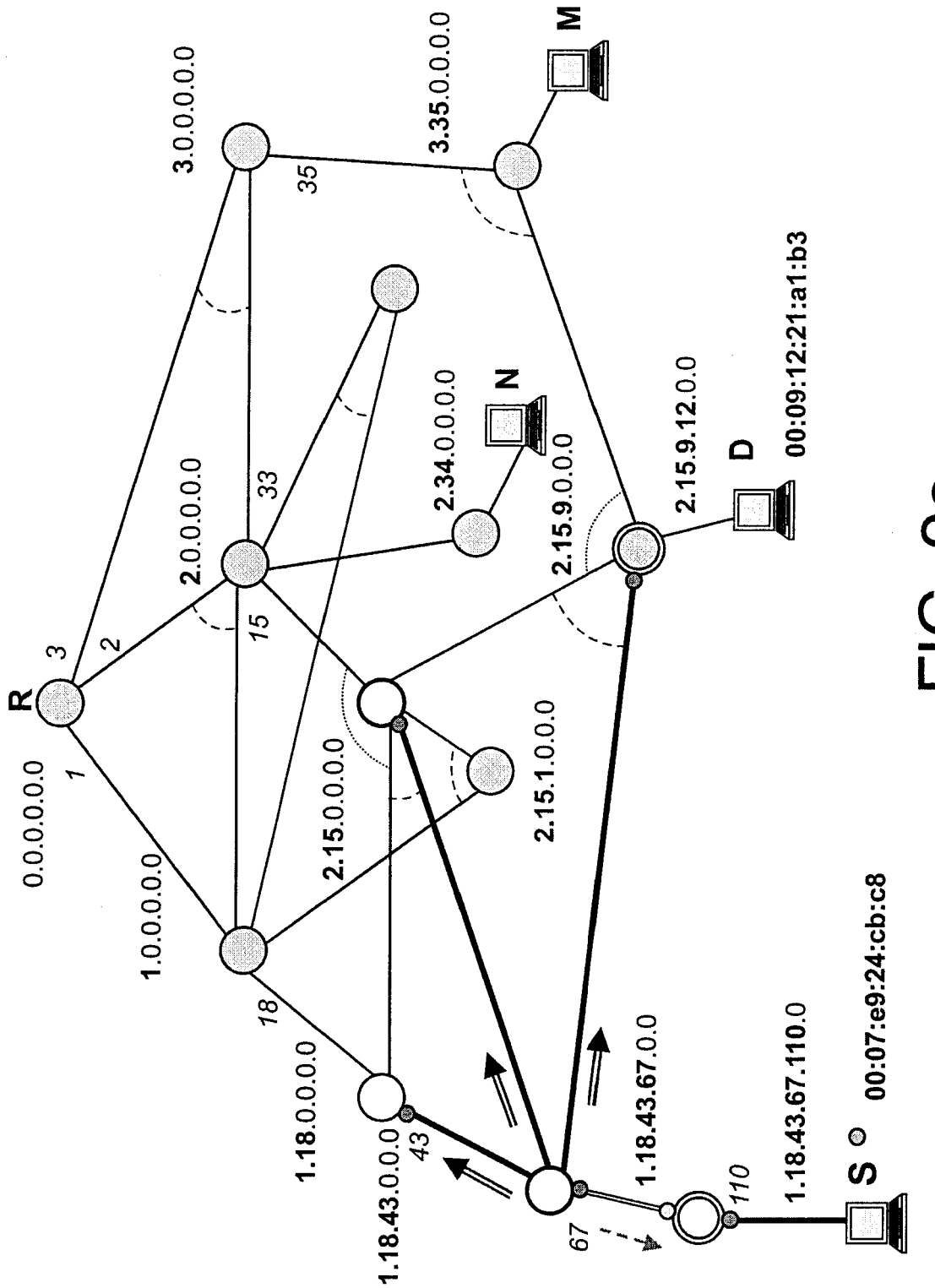
R
0.0.0.0.0
1.0.0.0.0
2.0.0.0.0
3.0.0.0.0
3.35.0.0.0
M
2.34.0.0.0
N
2.15.0.0.0
2.15.1.0.0.0
2.15.9.0.0.0
2.15.9.12.0.0
D
00:09:12:21:a1:b3
1.18.0.0.0.0
1.18.43.0.0.0
1.18.43.67.0.0
1.18.43.67.110.0
S
00:07:e9:24:cb:c8
1
2
3
15
18
33
35
43
67
110

FIG. 9c

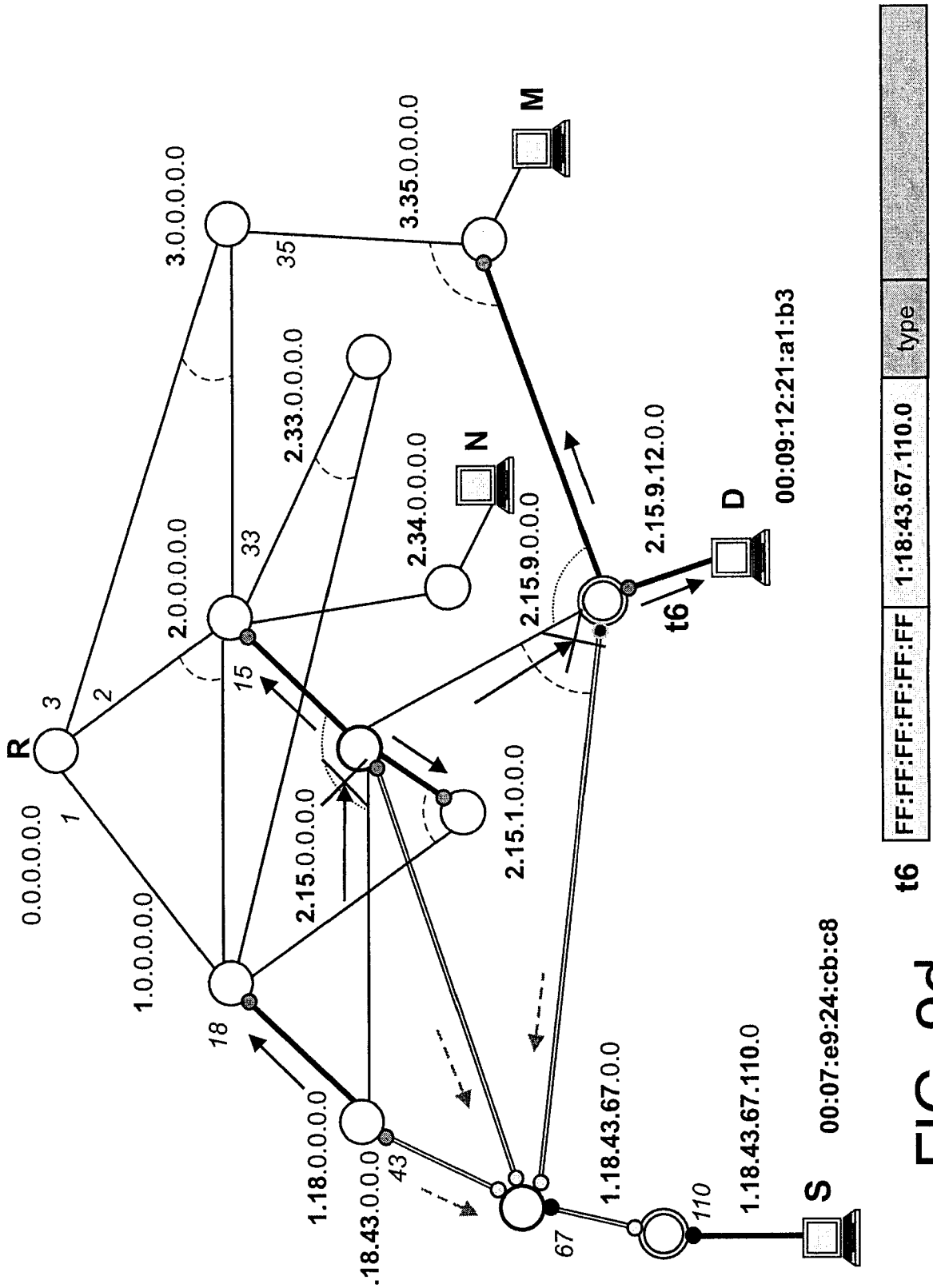
R
M
N
D
S
0.0.0.0.0.0
1.0.0.0.0.0
2.0.0.0.0.0
3.0.0.0.0.0
2.15.0.0.0.0
2.15.1.0.0.0
2.15.9.0.0.0
2.15.9.12.0.0
2.33.0.0.0.0
2.34.0.0.0.0
3.35.0.0.0.0
1.18.0.0.0.0
1.18.43.0.0.0
1.18.43.67.0.0
1.18.43.67.110.0
00:09:12:21:a1:b3
00:07:e9:24:cb:c8
t6
FF:FF:FF:FF:FF:FF
1:18:43.67.110.0
type

FIG. 9d

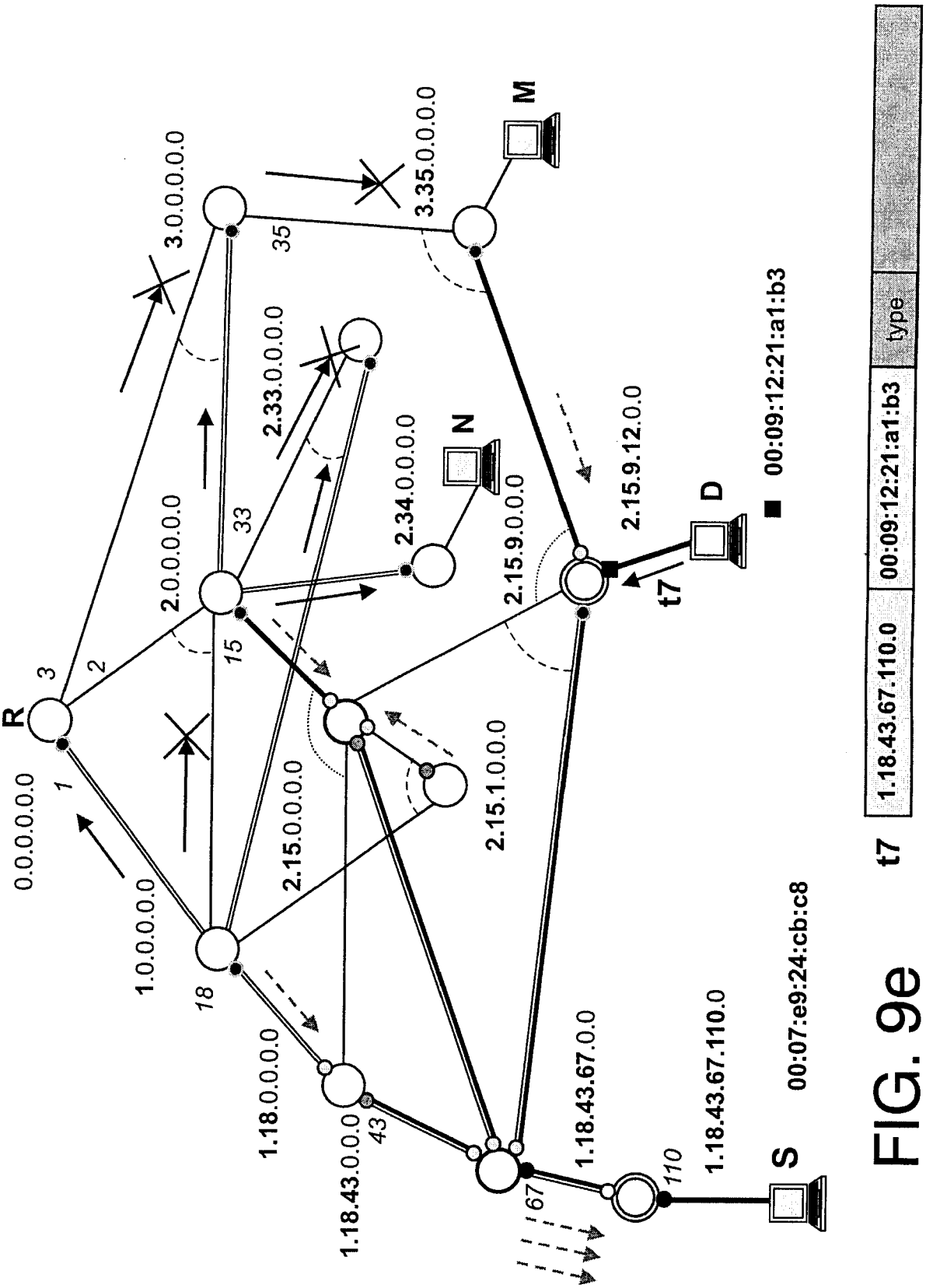
R
S
M
N
D
0.0.0.0.0.0
1.0.0.0.0.0
2.0.0.0.0.0
3.0.0.0.0.0
2.33.0.0.0.0
2.34.0.0.0.0
3.35.0.0.0.0
2.15.0.0.0.0
2.15.1.0.0.0
2.15.9.0.0.0
2.15.9.12.0.0
1.18.0.0.0.0
1.18.43.0.0.0
1.18.43.67.0.0
1.18.43.67.110.0
00:07:e9:24:cb:c8
00:09:12:21:a1:b3
t7
1
2
3
15
18
33
35
43
67
110
1.18.43.67.110.0
00:09:12:21:a1:b3
type

FIG. 9e

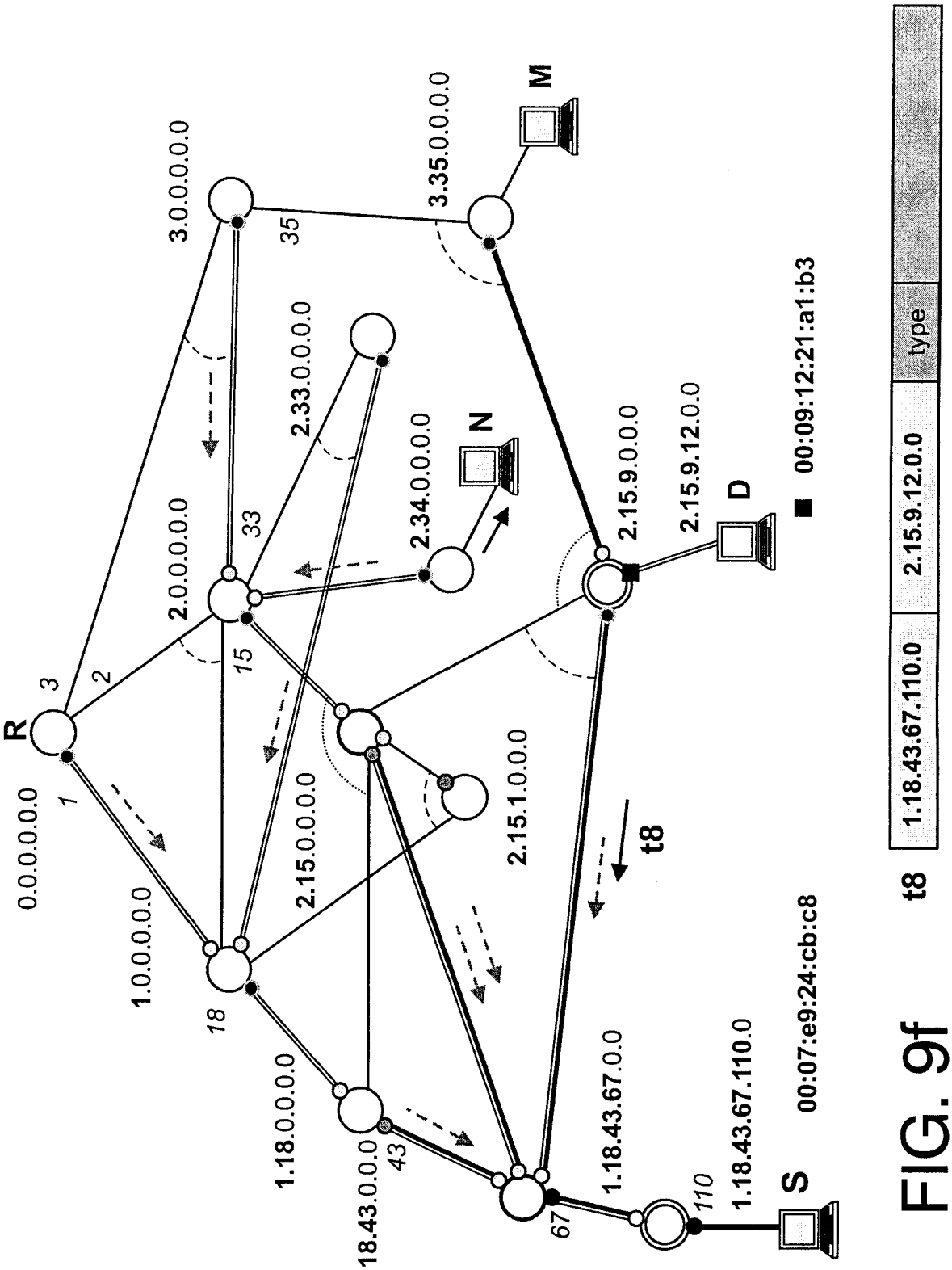
R
S
M
N
D
0.0.0.0.0.0
1.0.0.0.0.0
2.0.0.0.0.0
3.0.0.0.0.0
1.18.0.0.0.0
1.18.43.0.0.0
2.15.0.0.0.0
2.15.1.0.0.0
2.33.0.0.0.0
2.34.0.0.0.0
3.35.0.0.0.0
2.15.9.0.0.0
2.15.9.12.0.0
1.18.43.67.0.0
1.18.43.67.110.0
00:07:e9:24:cb:c8
00:09:12:21:a1:b3
t8
1.18.43.67.110.0
2.15.9.12.0.0
type
1
2
3
18
15
33
35
43
67
110

FIG. 9f

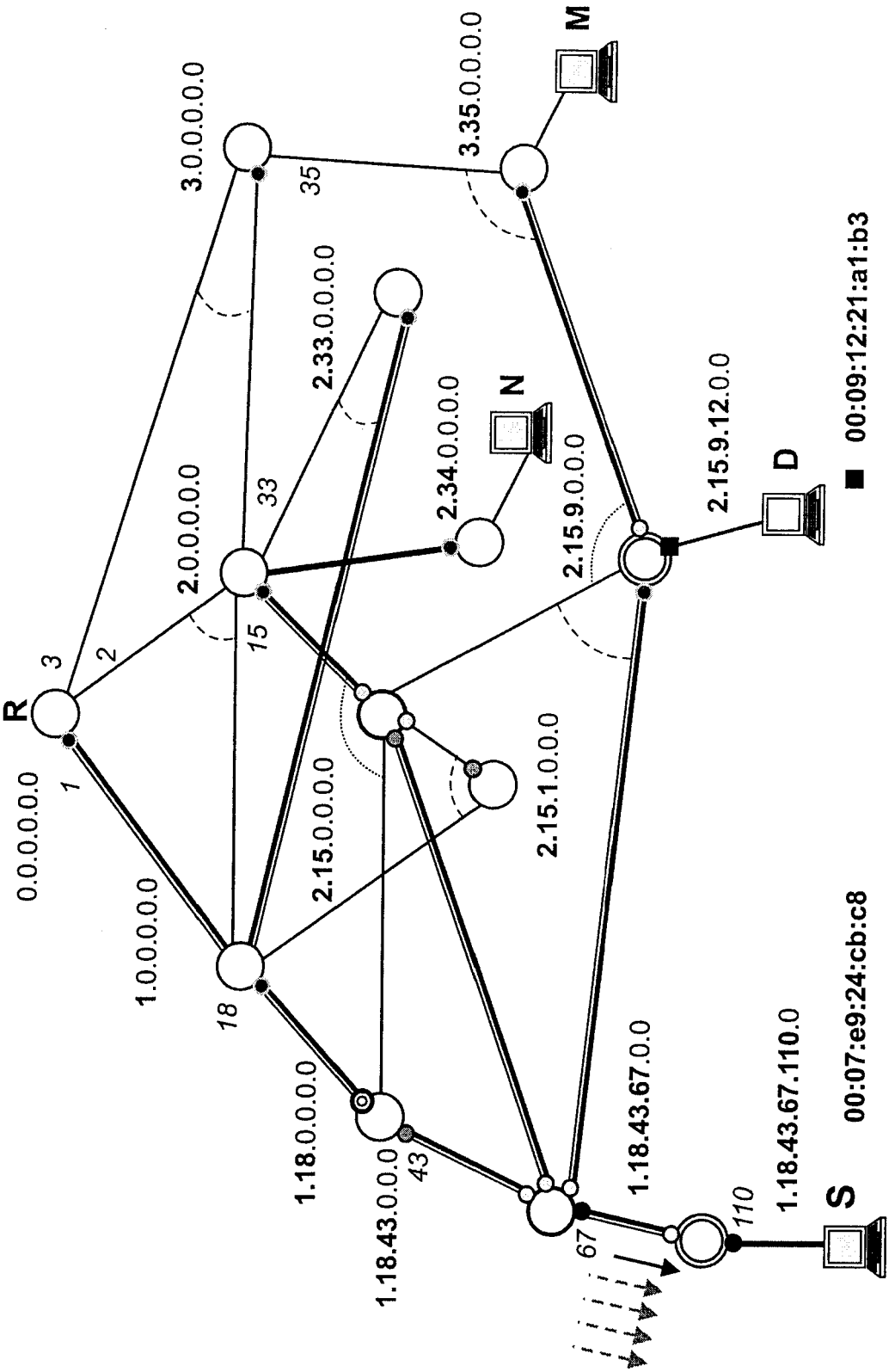
R
M
N
D
S
0.0.0.0.0.0
1.0.0.0.0.0
2.0.0.0.0.0
3.0.0.0.0.0
2.15.0.0.0.0
2.33.0.0.0.0
2.34.0.0.0.0
3.35.0.0.0.0
2.15.9.0.0.0
2.15.9.12.0.0
2.15.1.0.0.0
1.18.0.0.0.0
1.18.43.0.0.0
1.18.43.67.0.0
1.18.43.67.110.0
00:09:12:21:a1:b3
00:07:e9:24:cb:c8
1
2
3
15
18
33
35
43
67
110

FIG. 9g

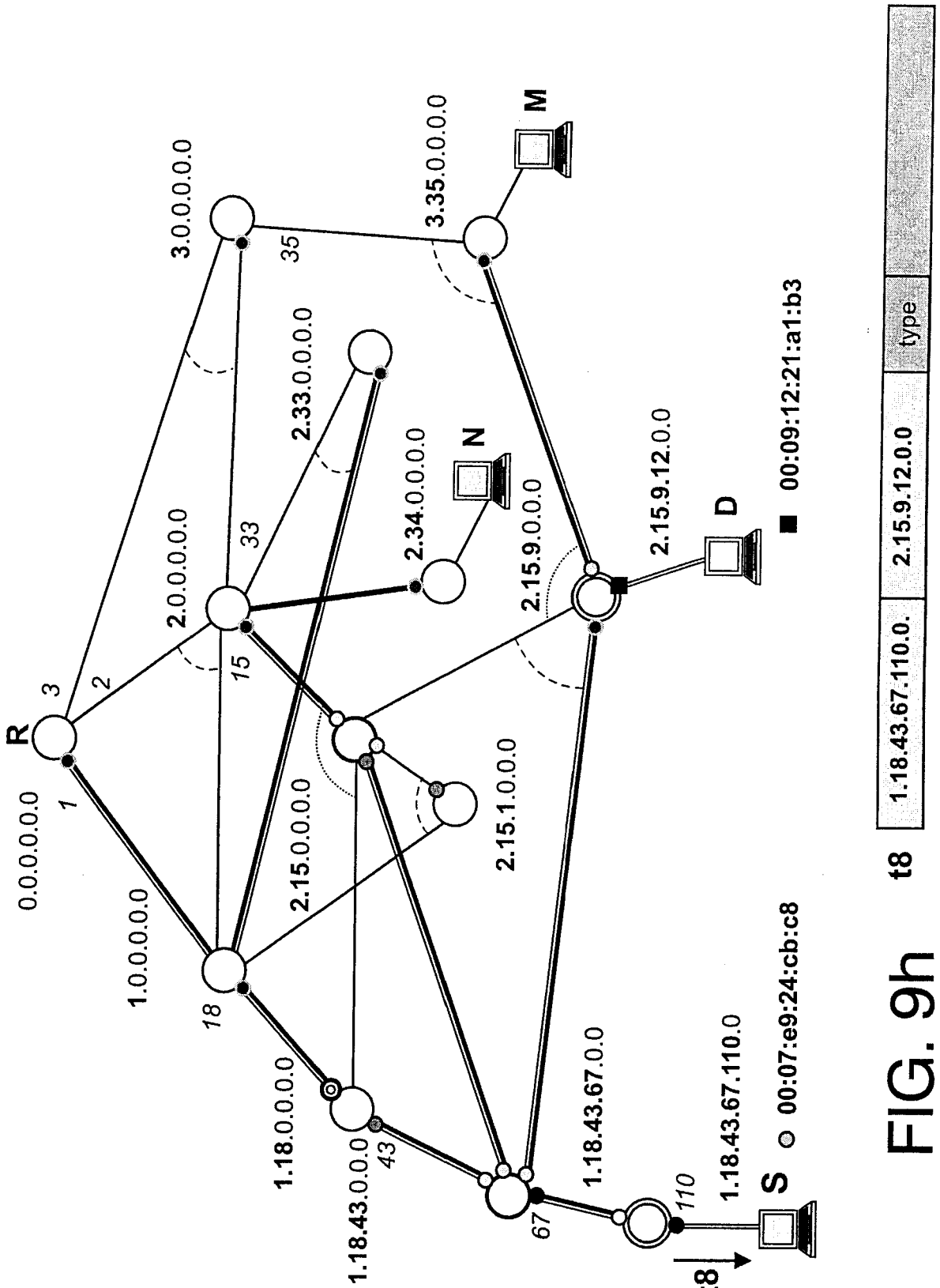
R
M
N
D
S
0.0.0.0.0.0
1.0.0.0.0.0
2.0.0.0.0.0
3.0.0.0.0.0
2.33.0.0.0.0
2.34.0.0.0.0
3.35.0.0.0.0
2.15.9.0.0.0
2.15.9.12.0.0
2.15.0.0.0.0
2.15.1.0.0.0
1.18.0.0.0.0
1.18.43.0.0.0
1.18.43.67.0.0
1.18.43.67.110.0
00:07:e9:24:cb:c8
00:09:12:21:a1:b3
1
2
3
15
18
33
35
43
67
110
t8
1.18.43.67.110.0.
2.15.9.12.0.0
type

FIG. 9h

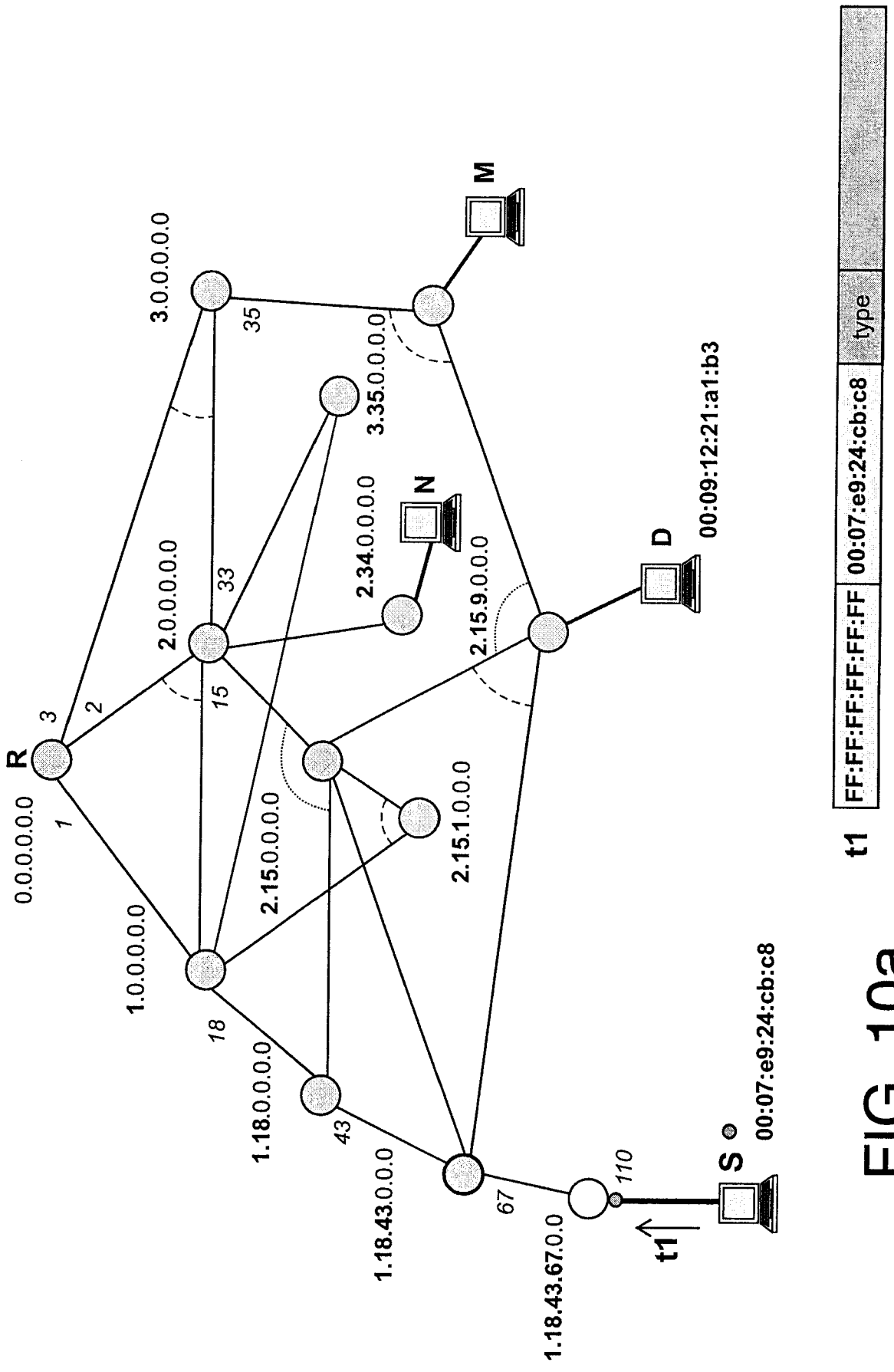
R
0.0.0.0.0
1
3
2
1.0.0.0.0
18
1.18.0.0.0
43
1.18.43.0.0
67
1.18.43.67.0.0
110
t1
S
00:07:e9:24:cb:c8
2.15.0.0.0.0
2.0.0.0.0
33
15
3.0.0.0.0
35
3.35.0.0.0
M
2.34.0.0.0
N
2.15.9.0.0.0
2.15.1.0.0.0
D
00:09:12:21:a1:b3
t1
FF:FF:FF:FF:FF:FF
00:07:e9:24:cb:c8
type

FIG. 10a

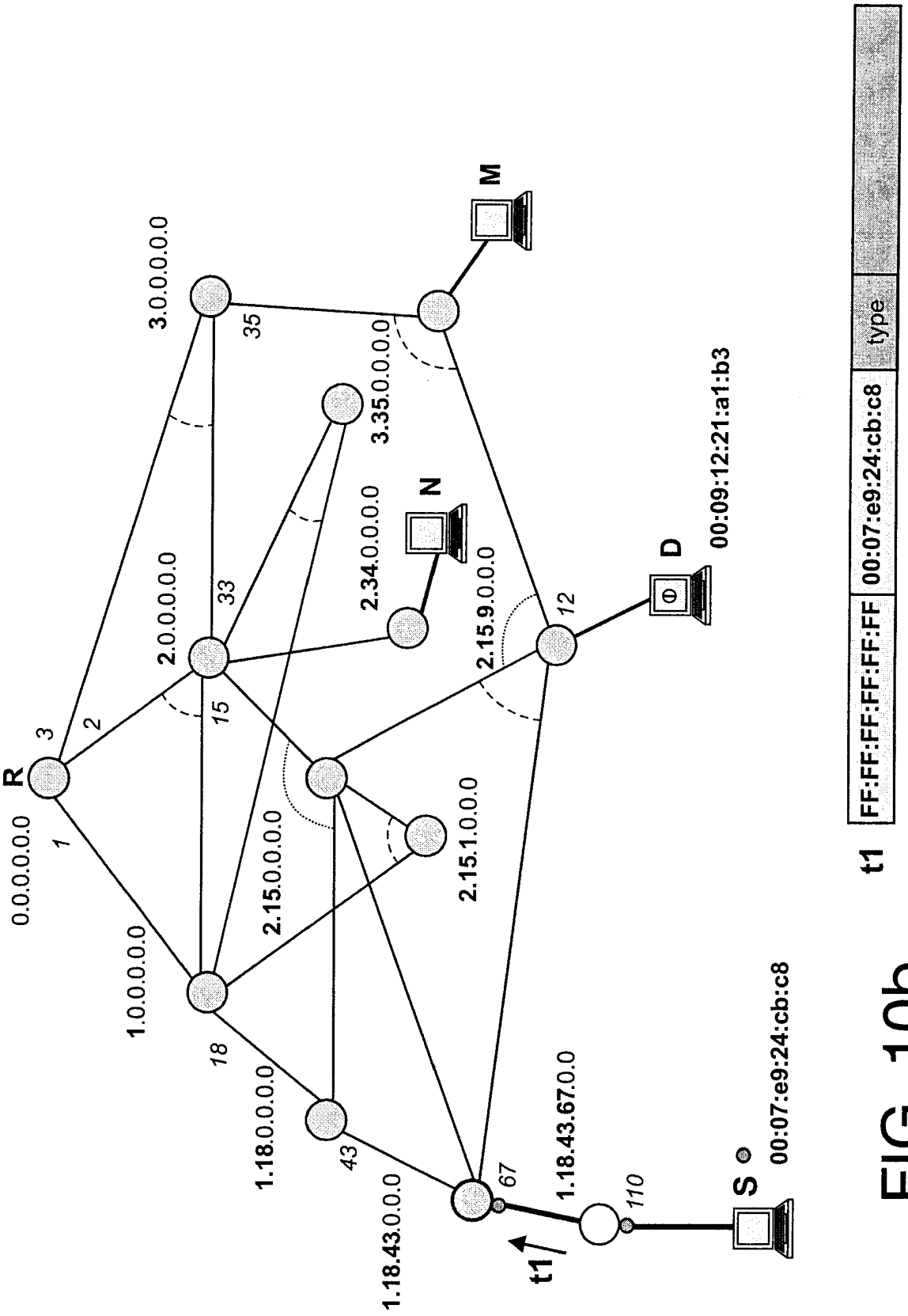
R
M
N
D
S
0.0.0.0.0
1.0.0.0.0
1.18.0.0.0
1.18.43.0.0.0
2.0.0.0.0
2.15.0.0.0
2.15.1.0.0.0
2.15.9.0.0.0
2.34.0.0.0.0
3.0.0.0.0.0
3.35.0.0.0.0
1.18.43.67.0.0
00:07:e9:24:cb:c8
00:09:12:21:a1:b3
1
2
3
15
18
33
35
43
67
110
12
t1
FF:FF:FF:FF:FF:FF
00:07:e9:24:cb:c8
type

FIG. 10b

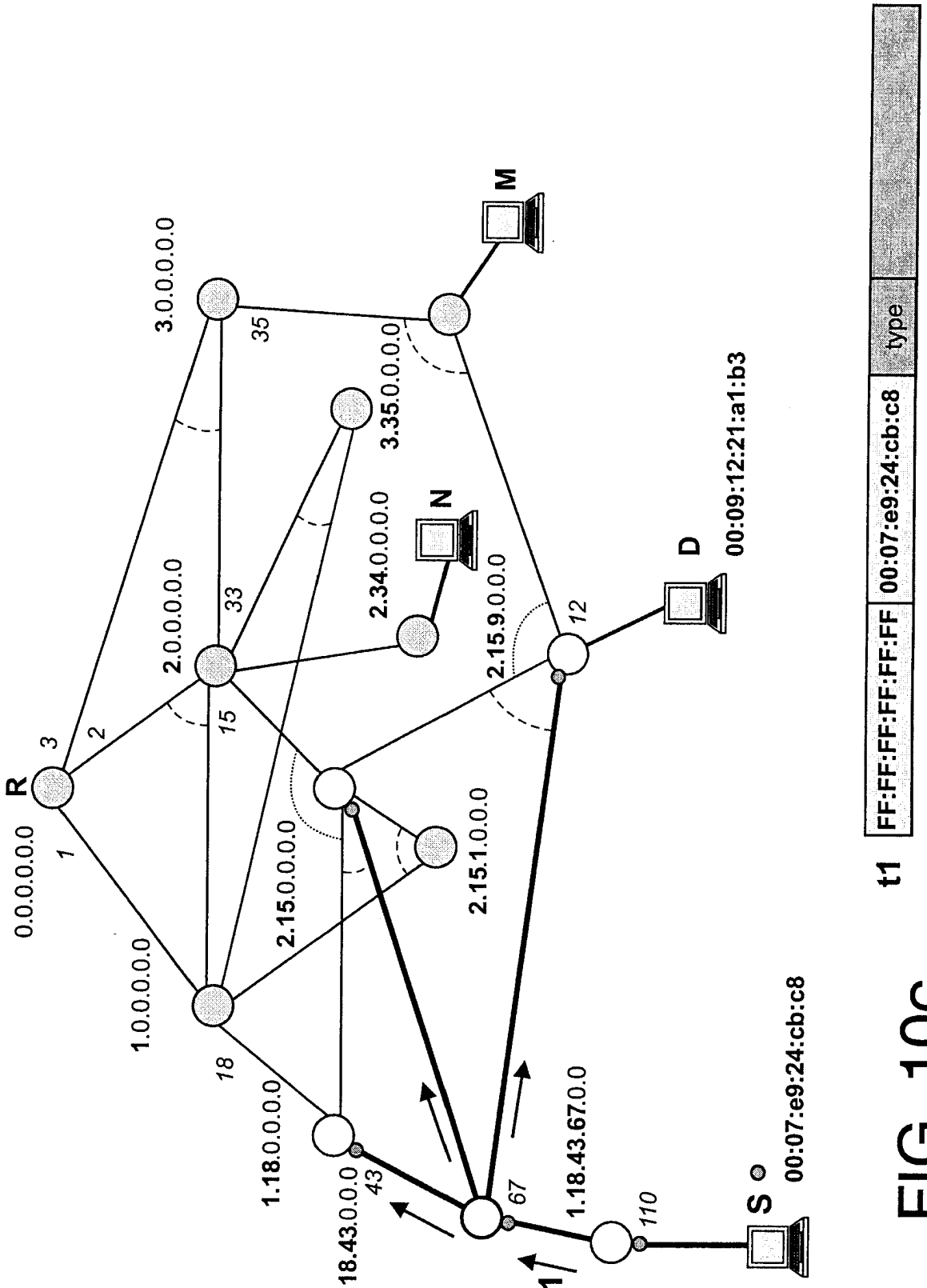
R
0.0.0.0.0.0
1
3
2
1.0.0.0.0.0
18
1.18.0.0.0.0
43
1.18.43.0.0.0
2.0.0.0.0.0
15
33
2.15.0.0.0.0
3.0.0.0.0.0
35
3.35.0.0.0.0
2.34.0.0.0.0
N
M
2.15.9.0.0.0
12
D
00:09:12:21:a1:b3
2.15.1.0.0.0
67
1.18.43.67.0.0
110
S
00:07:e9:24:cb:c8
t1
t1
FF:FF:FF:FF:FF:FF
00:07:e9:24:cb:c8
type

FIG. 10c

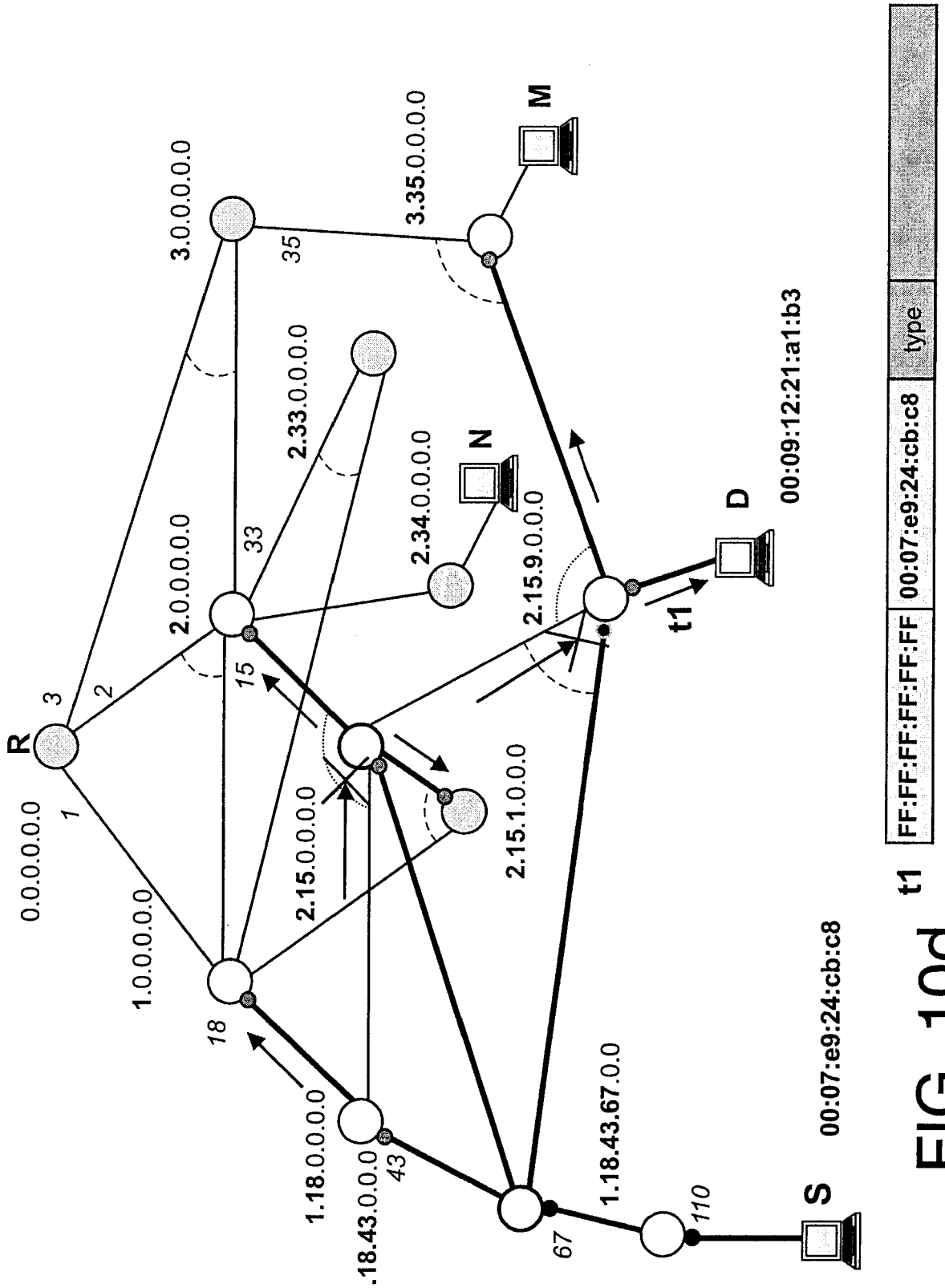
R
0.0.0.0.0.0
1
2
3
1.0.0.0.0.0
18
1.18.0.0.0.0
1.18.43.0.0.0
43
2.0.0.0.0.0
33
15
2.15.0.0.0.0
3.0.0.0.0.0
35
2.33.0.0.0.0
2.34.0.0.0.0
N
2.15.1.0.0.0
2.15.9.0.0.0
M
3.35.0.0.0.0
D
00:09:12:21:a1:b3
t1
1.18.43.67.0.0
67
110
S
00:07:e9:24:cb:c8
t1
FF:FF:FF:FF:FF:FF
00:07:e9:24:cb:c8
type

FIG. 10d

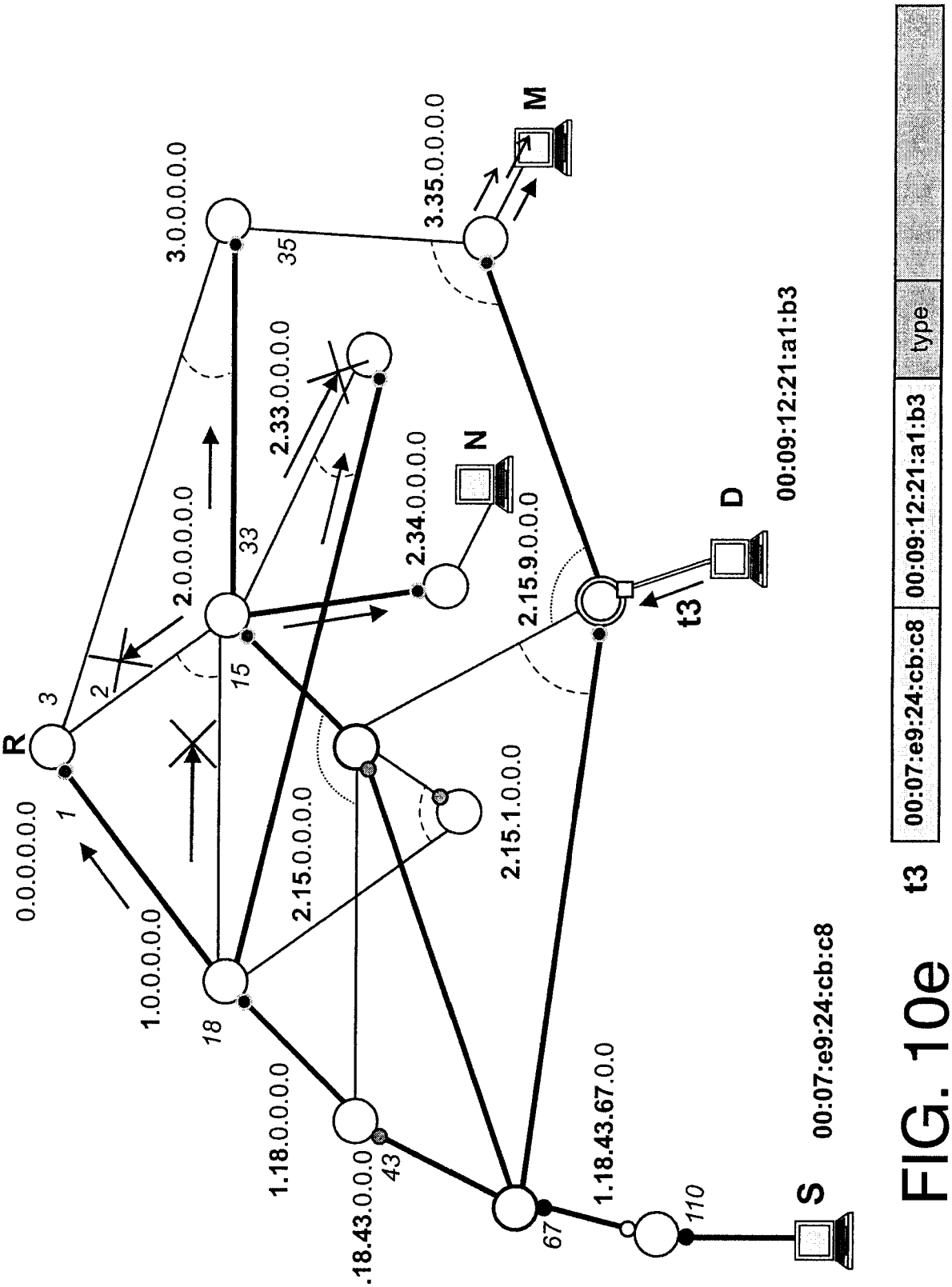
R
M
N
D
S
0.0.0.0.0.0
1.0.0.0.0.0
2.0.0.0.0.0
3.0.0.0.0.0
2.15.0.0.0.0
2.15.1.0.0.0
2.15.9.0.0.0
2.33.0.0.0.0
2.34.0.0.0.0
3.35.0.0.0.0
1.18.0.0.0.0
1.18.43.0.0.0
1.18.43.67.0.0
00:09:12:21:a1:b3
00:07:e9:24:cb:c8
t3
1
2
3
15
18
33
35
43
67
110
00:07:e9:24:cb:c8
00:09:12:21:a1:b3
type

FIG. 10e

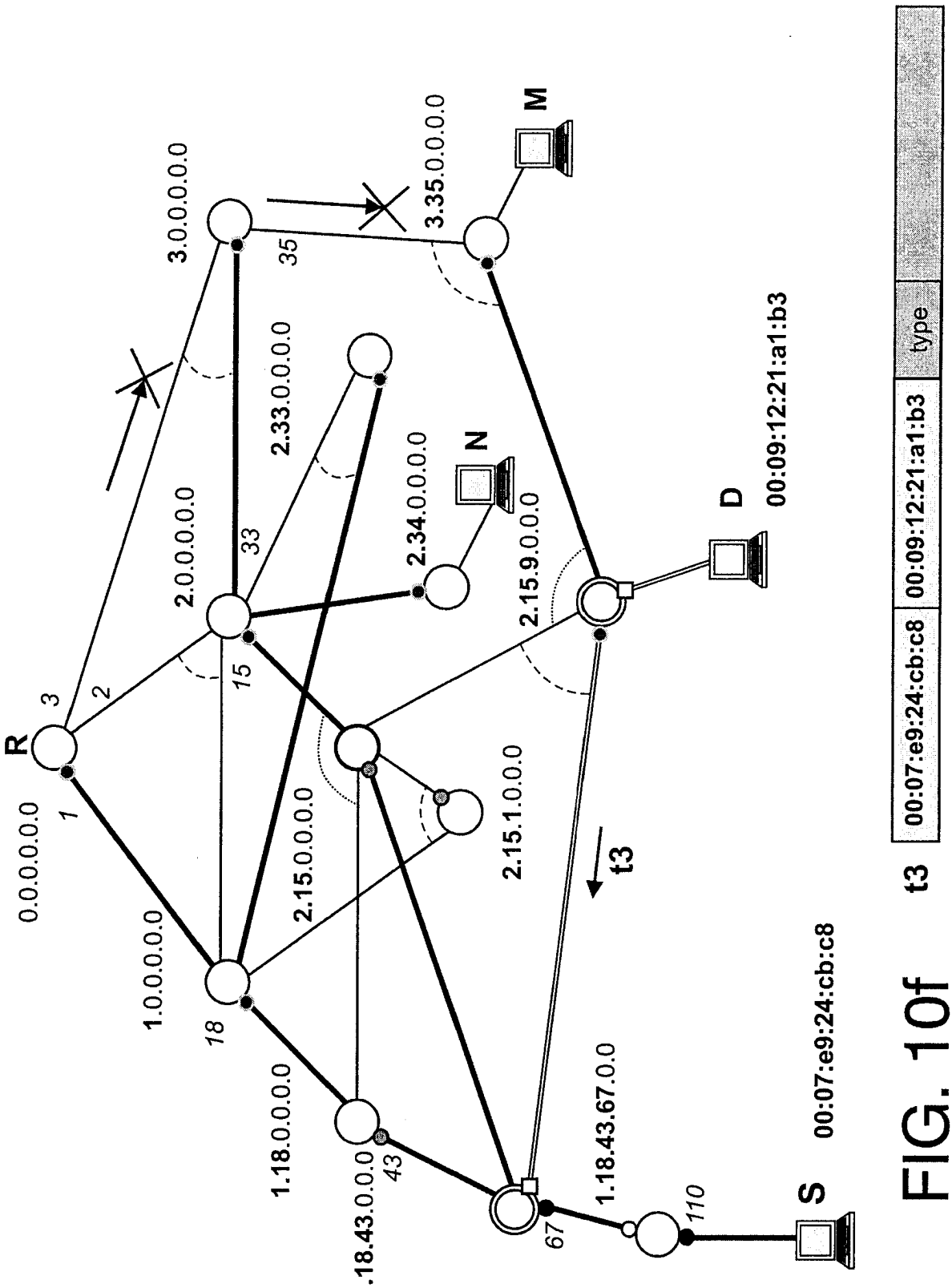
R
M
N
D
S
0.0.0.0.0
1.0.0.0.0
1.18.0.0.0
1.18.43.0.0
2.0.0.0.0
2.15.0.0.0
2.15.1.0.0
2.15.9.0.0
2.33.0.0.0
2.34.0.0.0
3.0.0.0.0
3.35.0.0.0
1.18.43.67.0.0
00:09:12:21:a1:b3
00:07:e9:24:cb:c8
t3
1
2
3
15
18
33
35
43
67
110
00:07:e9:24:cb:c8
00:09:12:21:a1:b3
type

FIG. 10f

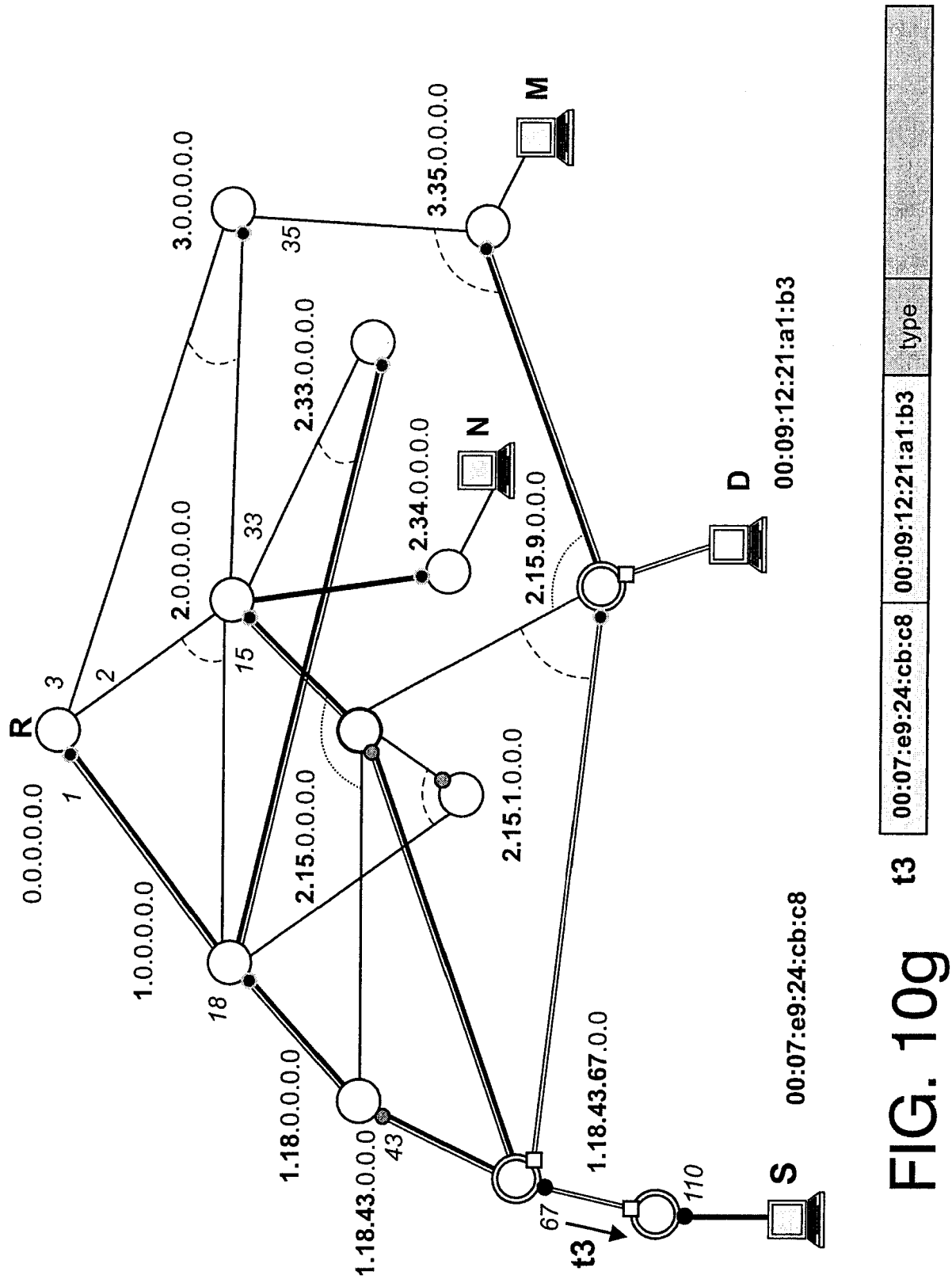
R
M
N
D
S
0.0.0.0.0.0
1.0.0.0.0.0
2.0.0.0.0.0
3.0.0.0.0.0
2.15.0.0.0.0
2.15.1.0.0.0
2.15.9.0.0.0
2.33.0.0.0.0
2.34.0.0.0.0
3.35.0.0.0.0
1.18.0.0.0.0
1.18.43.0.0.0
1.18.43.67.0.0
00:09:12:21:a1:b3
00:07:e9:24:cb:c8
t3
00:07:e9:24:cb:c8
00:09:12:21:a1:b3
type

FIG. 10g

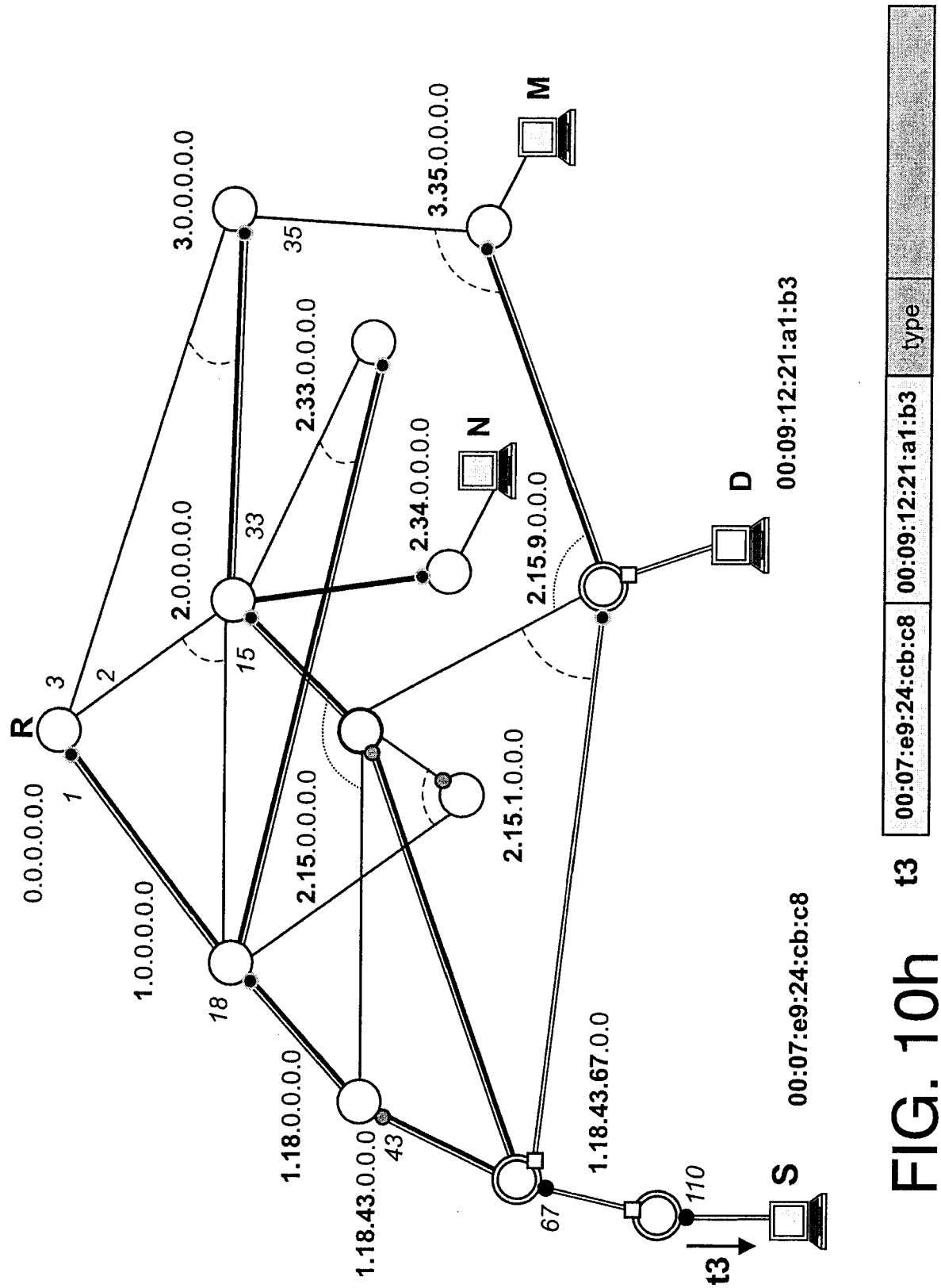
R
M
N
D
S
0.0.0.0.0
1.0.0.0.0
1.18.0.0.0
1.18.43.0.0.0
2.0.0.0.0
2.15.0.0.0.0
2.15.1.0.0.0
2.15.9.0.0.0
2.33.0.0.0.0
2.34.0.0.0.0
3.0.0.0.0.0
3.35.0.0.0.0
1.18.43.67.0.0
00:09:12:21:a1:b3
00:07:e9:24:cb:c8
t3
00:07:e9:24:cb:c8
00:09:12:21:a1:b3
type

FIG. 10h

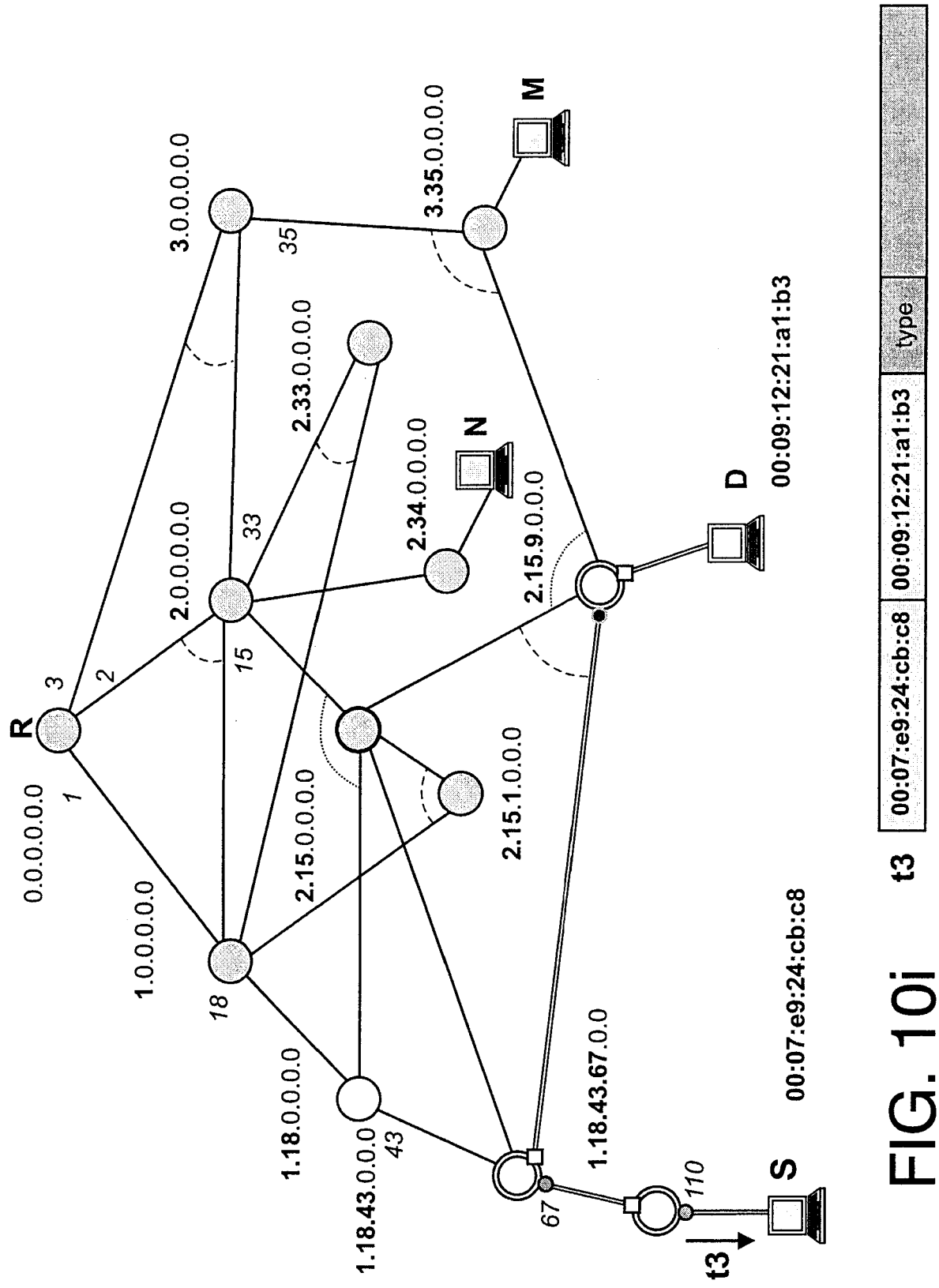
R
0.0.0.0.0.0
1
3
2
1.0.0.0.0.0
18
2.0.0.0.0.0
15
33
3.0.0.0.0.0
35
3.35.0.0.0.0
M
2.33.0.0.0.0
2.34.0.0.0.0
N
2.15.9.0.0.0
D
00:09:12:21:a1:b3
2.15.0.0.0.0
2.15.1.0.0.0
1.18.0.0.0.0
1.18.43.0.0.0
43
1.18.43.67.0.0
67
110
S
00:07:e9:24:cb:c8
t3
t3
00:07:e9:24:cb:c8
00:09:12:21:a1:b3
type

FIG. 10i

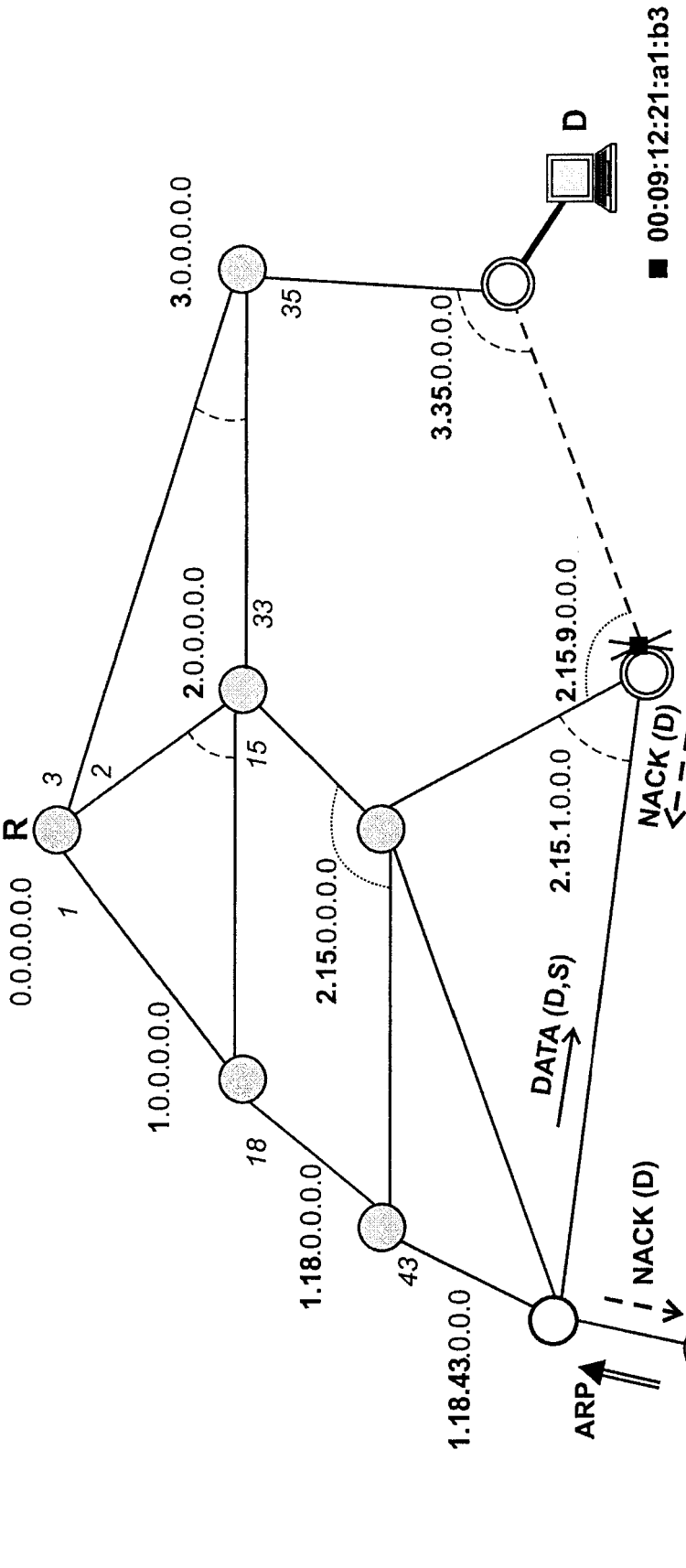
R
D
S
3.0.0.0.0
2.0.0.0.0
1.0.0.0.0
0.0.0.0.0
2.15.0.0.0
1.18.0.0.0
1.18.43.0.0
1.18.43.67.0.0
3.35.0.0.0
2.15.9.0.0.0
2.15.1.0.0.0
00:09:12:21:a1:b3
00:07:e9:24:cb:c8
DATA (D,S)
NACK (D)
NACK (D)
ARP
1
2
3
15
18
33
35
43
110

FIG. 11

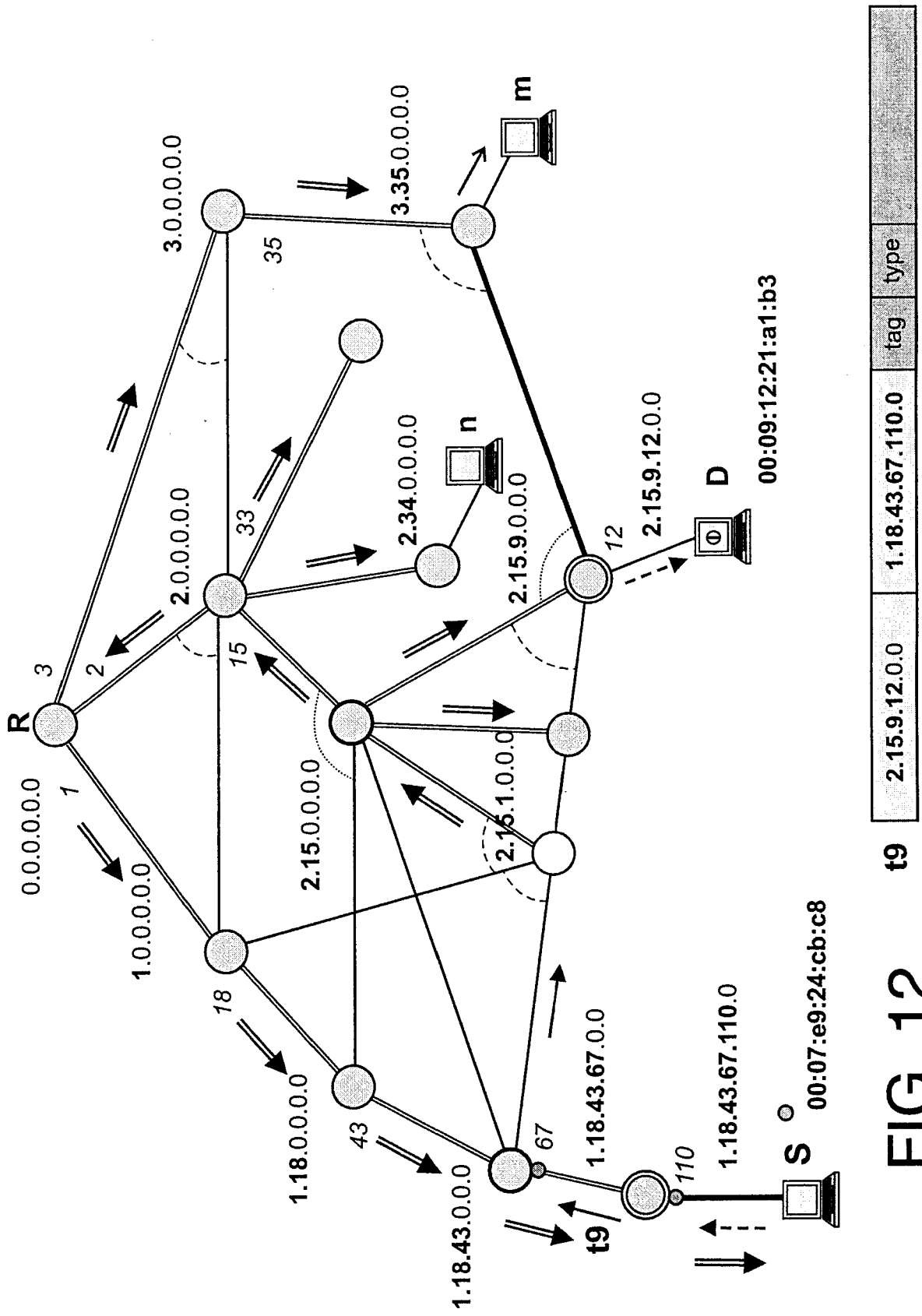
R
0.0.0.0.0.0
1
3
2
1.0.0.0.0.0
3.0.0.0.0.0
35
3.35.0.0.0.0
m
2.0.0.0.0.0
33
2.34.0.0.0.0
n
2.15.0.0.0.0
15
2.15.9.0.0.0
12
2.15.9.12.0.0
D
00:09:12:21:a1:b3
2.15.1.0.0.0
18
1.18.0.0.0.0
43
1.18.43.0.0.0
67
1.18.43.67.0.0
110
1.18.43.67.110.0
S
00:07:e9:24:cb:c8
t9
2.15.9.12.0.0
1.18.43.67.110.0
tag
type

FIG. 12

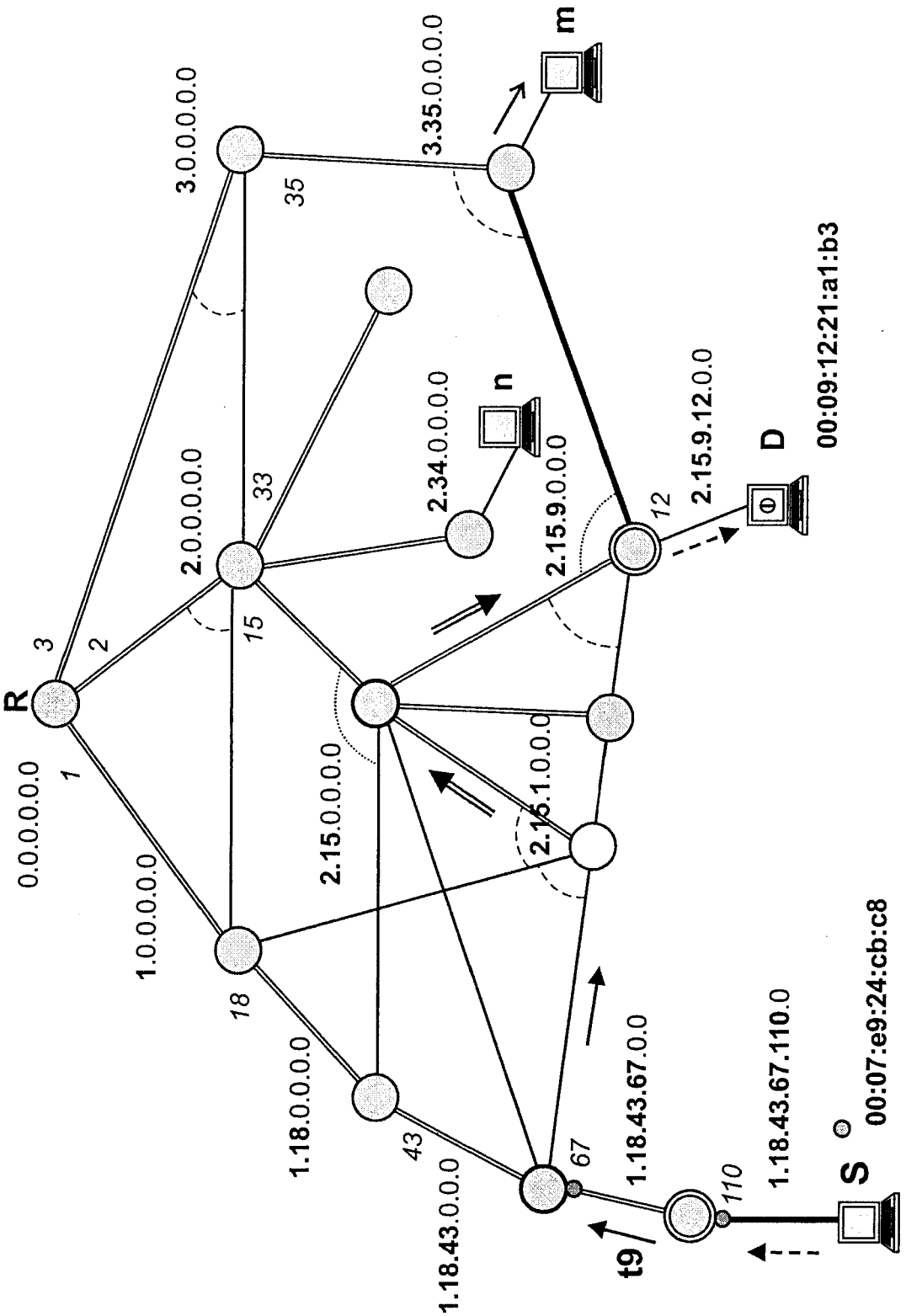
R
0.0.0.0.0
1
3
2
1.0.0.0.0
18
1.18.0.0.0
43
1.18.43.0.0.0
2.0.0.0.0.0
33
15
3.0.0.0.0
35
3.35.0.0.0
m
2.34.0.0.0.0
n
2.15.0.0.0
2.15.1.0.0.0
2.15.9.0.0.0
12
2.15.9.12.0.0
D
00:09:12:21:a1:b3
1.18.43.67.0.0
67
t9
110
1.18.43.67.110.0
S
00:07:e9:24:cb:c8

FIG. 13a

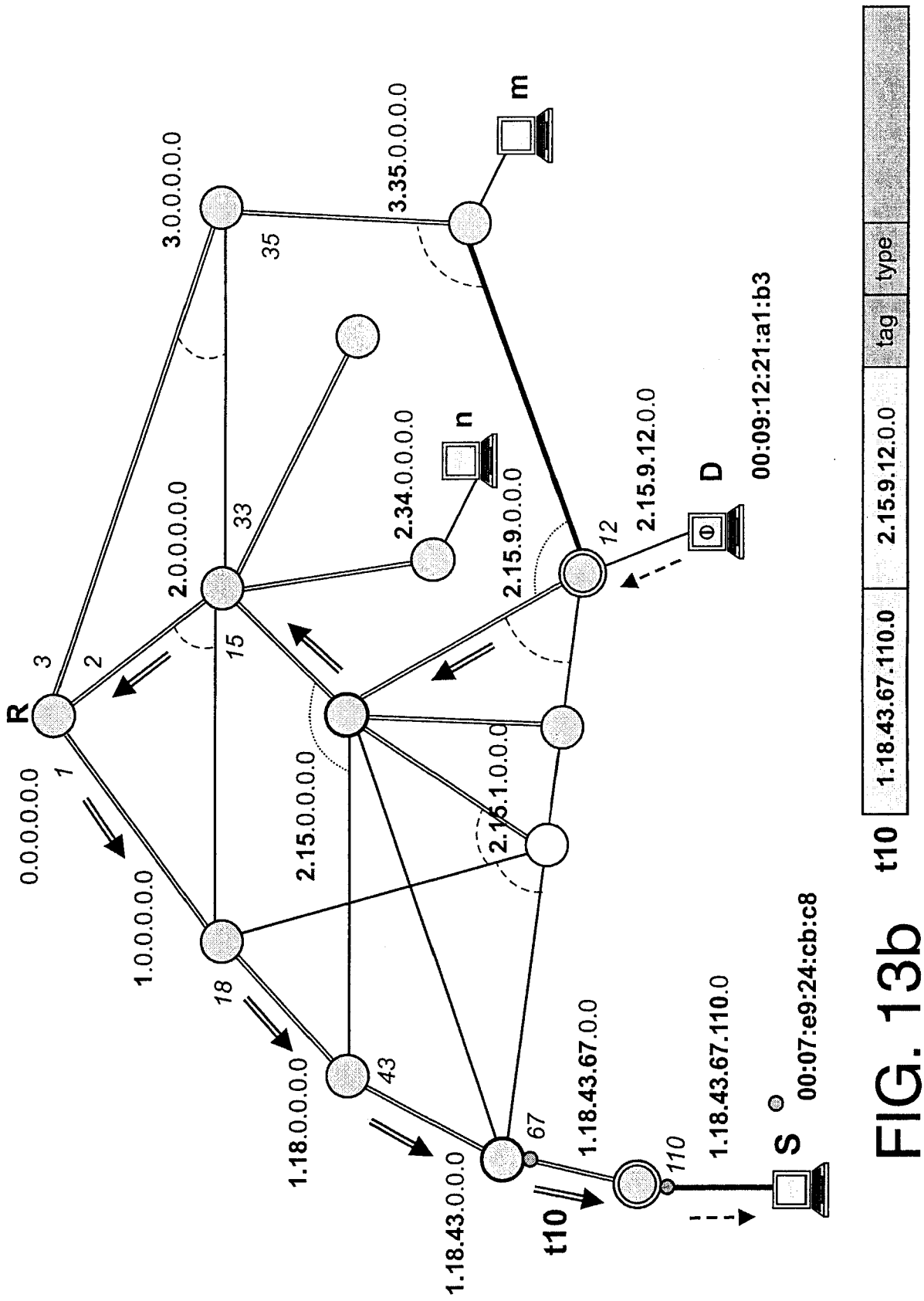
R
0.0.0.0.0.0
1.0.0.0.0.0
2.0.0.0.0.0
3.0.0.0.0.0
2.15.0.0.0.0
2.15.1.0.0.0
2.15.9.0.0.0
2.34.0.0.0.0
3.35.0.0.0.0
1.18.0.0.0.0
1.18.43.0.0.0
1.18.43.67.0.0
1.18.43.67.110.0
2.15.9.12.0.0
m
n
D
S
00:09:12:21:a1:b3
00:07:e9:24:cb:c8
t10
1.18.43.67.110.0
2.15.9.12.0.0
tag
type

FIG. 13b

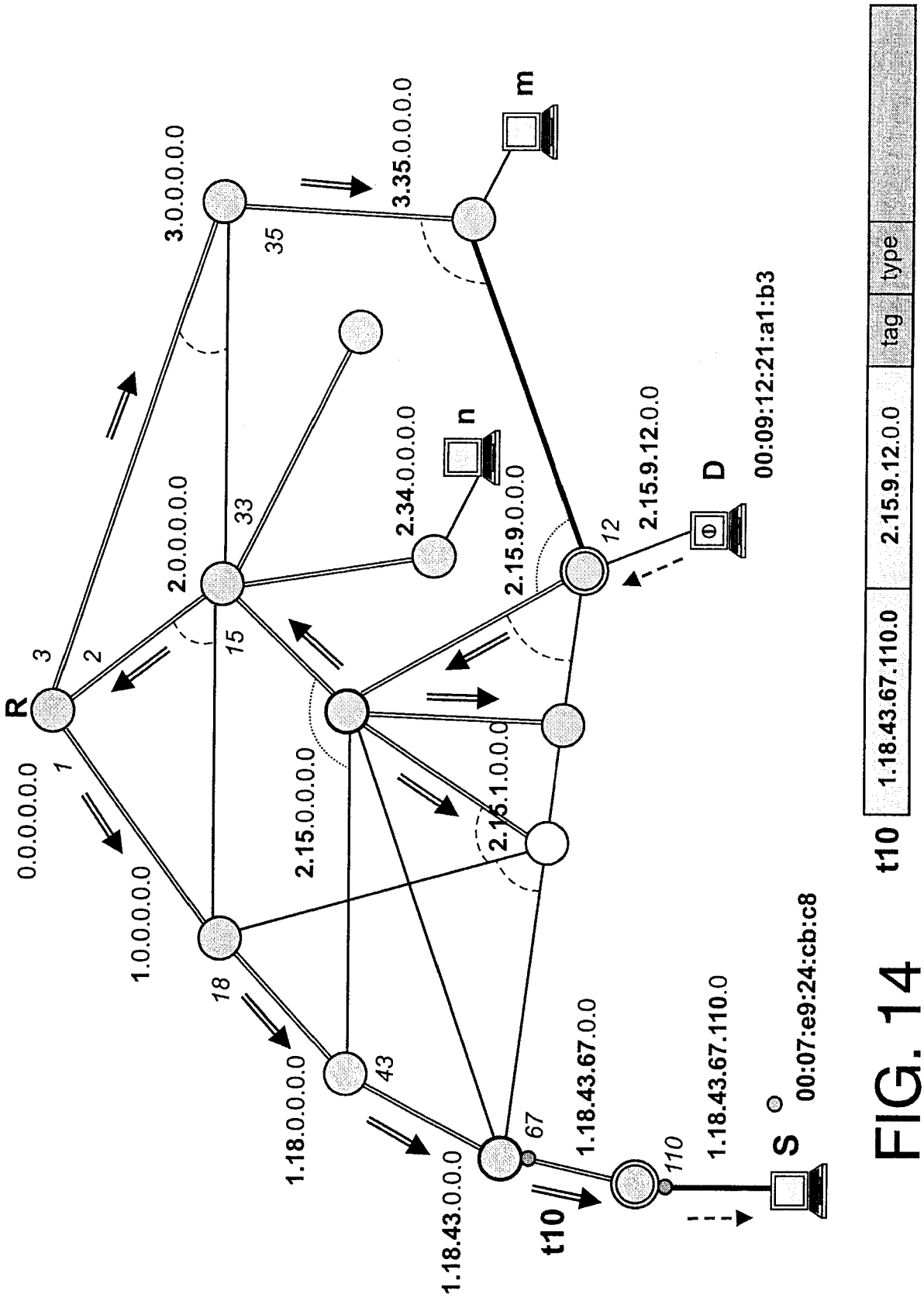
R
0.0.0.0.0.0
1
3
2
1.0.0.0.0.0
18
1.18.0.0.0.0
43
1.18.43.0.0.0
67
t10
110
1.18.43.67.0.0
1.18.43.67.110.0
S
00:07:e9:24:cb:c8
2.15.0.0.0.0
15
2.0.0.0.0.0
33
3.0.0.0.0.0
35
3.35.0.0.0.0
m
2.34.0.0.0.0
n
2.15.1.0.0.0
2.15.9.0.0.0
12
2.15.9.12.0.0
D
00:09:12:21:a1:b3
t10
1.18.43.67.110.0
2.15.9.12.0.0
tag
type

FIG. 14

OFICINA ESPAÑOLA
DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(21) N.º solicitud: 200900508

(22) Fecha de presentación de la solicitud: 24.02.2009

(32) Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

(51) **Int. Cl. :** ***H04L12/24*** (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	Hierarchical Up/Down routing architecture for ethernet backbones and campus networks" IBAÑEZ G A; GARCIA-MARTINEZ A; CARRAL J A; GONZALEZ P A Computer Communications Workshops, 2008. 13.04.2008. Págs: 1-6. ISBN 978-1-4244-2219-7; ISBN 1-4244-2219-1.	1
A	US 4399531 A (ROCKWELL INTERNATIONAL CORP) 16.08.1983, reivindicaciones 1-3.	1
A	US 6963575 B1 (YIPES ENTPR SERVICES INC) 08.11.2005, reivindicación 1.	1
A	EP 1853003 A1 (ACTERNA FRANCE) 07.11.2007, párrafos 41,43,45,47.	6-8
A	AZCORRA A; IBAÑEZ G "Application of rapid spanning tree protocol for automatic 'hierarchical address assignment to bridges" Telecommunications Network Strategy and Planning Symposium. NETWORKS 2004, 11th International Vienna, Austria. Junio 13.06.2004, Pags: 435-440. ISBN 978-3-8007-2840-4; ISBN 3-8007-2840-0.	1

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia
Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría
A: refleja el estado de la técnica
O: referido a divulgación no escrita
P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud
E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

☒ para todas las reivindicaciones ☐ para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe	Examinador	Página
27.05.2011	M. Muñoz Sanchez	1/4

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

H04L

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC, WPI, XPMISC, XPI3E, XPIETF, XPIEE, XPESP, NPL, COMPDX

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 27.05.2011

Declaración

Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)	Reivindicaciones	1-27	**SI**
	Reivindicaciones		**NO**
Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)	Reivindicaciones	1-27	**SI**
	Reivindicaciones		**NO**

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

Base de la Opinión.-

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.

1. Documentos considerados.-

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Doc.	Número Publicación o Identificación	Fecha Pub.
D01	"Hierarchical Up/Down routing architecture for ethernet backbones and campus networks" Ibañez G A; Garcia-Martinez A; Carral J A; Gonzalez P AComputer Communications Workshops, 2008. . Págs: 1 - 6. ISBN 978-1-4244-2219-7 ; ISBN 1-4244-2219-1	13-04-2008
D02	US 4399531 A	16.08.1983
D03	US 6963575 B1	08.11.2005
D04	EP 1853003 A1	07.11.2007
D05	Application of rapid spanning tree protocol for automatic 'hierarchical address assignment to bridges" Azcorra A; Ibanez G Telecommunications Network Strategy and Planning Symposium. NETWORKS 2 004, 11th International Vienna, Austria. 13.06.2004, Pags:435 - 440 ISBN 978-3-8007-2840-4 ; ISBN 3-8007-2840-0	13.06.2004

2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración

Se considera D01 el documento más próximo del estado de la técnica al objeto de la solicitud.

Reivindicaciones independientes:

Reivindicación 1:

El documento D01, divulga un método para el encaminamiento de tramas de datos a través de una pluralidad de puentes conectados mediante enlaces punto a punto que soportan dos sentidos de propagación, formando un árbol de expansión a partir de un puente de red raíz con respecto al que cada puente tiene una distancia que comprende la asignación de una dirección en correspondencia con la distancia al puente de red raíz.
En el documento D02 un nodo “destino” responde con un mensaje a otro mensaje que le había llegado enviado desde otro nodo “origen” empleando el mecanismo de difusión. Este mensaje de respuesta se envía por el camino más corto, que se asume, contiene el enlace por el que primero le ha llegado el mensaje de difusión. Los duplicados del mensaje original se rechazan, tras hacer una comparación, en el nodo”destino”.
Se ha considerado, teniendo en cuenta el campo técnico de D02, que el enlace se correspondería implícitamente con un puerto y que el mensaje no tiene por que ser específico para determinar el camino más corto, si no que podría corresponderse con un mensaje de datos normal que se aprovechara para el uso particular que aparece en D02, por ejemplo un mensaje ARP. Por otra parte es cierto que el documento de la solicitud no necesita comparar el mensaje en sí sino simplemente la dirección MAC del nodo “origen”, si bien esta característica podría extenderse de forma evidente también al documento D 02; se compararía sólo la dirección y no todo el mensaje si se sabe el tipo de mensaje de que se trata reduciendo así a una dirección la única información que interesaría conocer.
El documento D03 ilustra el uso del indicador de caducidad para borrar direcciones aprendidas.
El tiempo de guarda, como se aclara en la contestación, resulta esencial en la prevención de bucles, aspecto que no se considera en el documento D02. Definido el problema técnico respecto a D01 de optimizar la configuración, el mantenimiento y funcionamiento de la red prohibiendo bucles y con la máxima simplicidad, el documento D02 podría combinarse con D01 para ofrecer una alternativa en la misma dirección que la solicitud. Sin embargo el experto en la materia no consideraría directamente el uso del tiempo de guarda que sí se señala en esta reivindicación y por tanto la reivindicación 1 posee actividad inventiva según el artículo 8.1 de la Ley de Patentes.

Reivindicación 26:

El contenido de esta reivindicación se refiere a un router configurado para implementar el procedimiento de la reivindicación 1 y por tanto esta reivindicación posee actividad inventiva según el artículo 8.1 de la Ley de Patentes.

Reivindicaciones dependientes

Reivindicaciones 2-25, 27:

Estas reivindicaciones dependen de la reivindicación 1 ó 26 y en la medida en que éstas poseen actividad inventiva las reivindicaciones 2-25 y 27 también tienen actividad inventiva según el artículo 8.1 de la Ley de Patentes.